

Санкт-Петербургский государственный университет
Экономический факультет
Кафедра экономической кибернетики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
по направлению 080100 - «Экономика»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРИТЕТА
ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК

Выполнил:
Бакалавриant 4 курса, группы МиСМЭ-4
Кукс Анна Владимировна
_____/Подпись/

Научный руководитель:
Кандидат физ.-мат. наук, доцент
Подкорытова Ольга Анатольевна
_____/Подпись/

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1 Теория паритета процентных ставок	5
1.1 Сущность теории паритета процентных ставок	5
1.2 Паритет процентных ставок как модель формирования валютного курса.....	8
1.3 Анализ влияния внешних шоков на равновесие в модели ППС.....	12
1.4 Покрытый и непокрытый паритет процентных ставок	16
1.5 Форвардный и спотовый валютный курс.....	18
Глава 2 Обзор методов тестирования паритета процентных ставок	20
2.1 Проблема тестирования паритета	20
2.2 Методы, основанные на непосредственной проверке равенства между частями уравнения паритета	21
2.3 Методы, основанные на проверке коэффициентов коинтеграционного уравнения.....	21
2.4 Методы, основанные на проверке коэффициентов ЕСМ	26
2.5 Обобщение методов тестирования паритета процентных ставок	27
Глава 3 Проверка гипотезы о существовании паритета процентных ставок на реальных данных	30
3.1 Выбор и описание данных	30
3.2 Анализ данных.....	31
3.2.1 Непокрытый паритет.....	31
3.2.2 Покрытый паритет.....	46
Заключение.....	51
Список использованных источников.....	53
Приложения	55

ВВЕДЕНИЕ

Взаимосвязь между процентными ставками и обменными курсами — непрекращающаяся тема дискуссий среди экономистов и финансовых аналитиков. Один из главных вопросов заключается в том, в какой степени изменения в монетарной политике воздействуют на обменный курс. Принцип работы здесь прост: когда между относительными процентными ставками двух валют происходит значительный и долговременный разрыв, обменный курс будет двигаться так, что безрисковые инвестиции в одну из валют будут эквивалентны инвестициям в другой валюте на аналогичный срок. Если этого не произошло, значит, появляется возможность достичь безграничной отдачи на инвестиции без риска. Экономическая теория формализовала эту связь как «Паритет процентных ставок».

Теорию паритета процентных ставок породила валютная торговля, желание экономических агентов извлечь из имеющегося капитала как можно больший доход. Если инвесторы нейтральны к рискам и имеют рациональные ожидания, будущий обменный курс должен корректироваться с учетом нынешней разницы в процентных ставках таким образом, чтобы инвестиции в разные валюты имели одинаковые доходности. Согласно теории, получается, что в долгосрочном периоде не может быть получен арбитраж за счет взятия займов в странах с низкими процентными ставками и инвестирования в страны с более высокими ставками. Интуитивно понятно: любой рациональный инвестор захочет провести аналогичную операцию, что вызовет рост спроса на валюту страны с более высокой ставкой и, соответственно, снижение ее предложения. Под действием этих сил валюта страны с более высокой процентной ставкой подорожает, что в конечном счете снизит ее доходность. Однако многочисленные исследования показывают, что паритет выполняется не для всех валют и/или не на каждом временном промежутке. А это фактически означает, что решение о выборе валюты играет для инвестора очень важную роль.

Таким образом, проверка наличия паритета процентных ставок играет важную роль в финансах. Если паритет действительно выполняется для некоторой валютной пары, это означает, что, во-первых, инвестор безразличен к выбору валюты депозита в этой паре. Во-вторых, факт наличия паритета делает возможными попытки использовать полученную эконометрическую модель для прогнозирования будущего обменного курса. В связи с этим **целью** данной работы стала проверка наличия устойчивой взаимосвязи между курсами валют и уровнями процентных ставок в двух странах, которая бы приводила к равенству доходностей по депозитам.

Для этого были определены следующие **задачи**:

- изучение концепции паритета процентных ставок как макроэкономической теории;

- анализ влияния внешних шоков на равновесие в модели;
- изучение методов моделирования паритета процентных ставок;
- выбор валютной пары для анализа и сбор необходимых данных;
- тестирование паритета процентных ставок.

Предметом исследования данной работы являются концепция паритета процентных ставок и эконометрические методы его моделирования.

Объектом исследования выступают денежные рынки Великобритании, США и Японии.

В качестве методов научного исследования для решения поставленных задач в работе выступают анализ, синтез и классификация имеющейся информации о теории паритета процентных ставок, а также экономико-статистические методы, посредством которых проводится непосредственное моделирование паритета.

Реализация вышеуказанных цели и задач обусловила структуру и логику работы. Работа состоит из трех глав. Первая глава посвящена разбору сущности теории паритета процентных ставок и анализу устойчивости равновесия в модели. Во второй главе на основе анализа более ранних исследований по данной теме проводится обзор наиболее распространенных методов, используемых для тестирования гипотезы паритета процентных ставок. Третья глава содержит результаты практического применения изученных во второй главе эконометрических моделей на примере двух валютных пар: доллар США – британский фунт и доллар США – иена.

Глава 1 ТЕОРИЯ ПАРИТЕТА ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК

1.1 Сущность теории паритета процентных ставок

«Теория паритета процентных ставок считается одной из наиболее важных в международных финансах. Это, вероятно, лучший способ объяснения того, как устанавливаются обменные курсы валют и почему происходят их колебания»¹. Согласно ППС, причиной изменения спотовых (текущих) обменных курсов являются действия инвесторов по перемещению капитала, обусловленные межстрановыми различиями в процентных ставках, т.е. в ставках доходности (Rate of Return). Другими словами, теория ППС полагает, что котировка валюты на международной бирже меняется из-за движения финансовых потоков, которое происходит за счет изменения доходности инвестиций в разных странах. Это контрастирует с концепцией паритета покупательной способности, согласно которой, объем спроса на ту или иную валюту и ее предложения, а следовательно и обменный курс, обусловлен движением товарных потоков, т.е. импортом и экспортом. Различия в двух теориях часто объясняют тем, что паритет покупательной способности объясняет долгосрочную динамику валютного курса, в то время как ППС обуславливает его краткосрочные колебания.

В основе паритета процентных ставок лежит идея равенства доходностей сопоставимых активов в двух странах. Сам термин возник в период существования золотого стандарта, когда обменные курсы были фиксированы. В тех условиях паритет процентных ставок означал просто равенство процентных ставок во всех странах. Однако, когда мир перешел к системе плавающих валютных курсов, паритет процентных ставок сохранил свое название, но по существу стал паритетом доходностей.

Рассмотрим подробнее основополагающую идею. Для наглядности возьмем российского инвестора, располагающего суммой в размере X Р, которую хочет положить на банковский депозит сроком на 1 год. В качестве альтернативы он также предполагает вариант инвестиции в банк США. Использование банка в качестве объекта инвестирования условно, т.к. вместо него могут быть использованы любые другие проекты (активы), эквивалентные по риску. Любой рациональный инвестор будет делать выбор на основе сравнения сумм, которые он получит через год в России и в США.

Введем обозначения, которые будем использовать далее:

- X – размер инвестируемой суммы в рублях;

¹ Suranovic, S., 2010. International trade: Theory and policy. The Saylor Foundatio. – p. 821

- $E_{\text{P}/\$}$ – текущий обменный курс между рублем и долларом США на дату инвестирования (в руб. за 1\$ США);
- $E_{\text{P}/\e – ожидаемый обменный курс между рублем и долларом США на конец периода инвестирования (в руб. за 1\$ США);
- i_{RU} – процентная ставка по депозитам в России;
- i_{US} – процентная ставка по депозитам в США.



Рисунок 1 Основополагающая идея паритета процентных ставок

Депозит в России через год принесет инвестору $X(1 + i_{RU})\text{P}$. Чтобы положить деньги в американский банк, вначале их придется конвертировать в доллары по текущему курсу $E_{\text{P}/\$}$ (здесь и далее $E_{\text{P}/\$}$ измеряется в рублях за 1\$ США). В результате на депозите окажется $\frac{X}{E_{\text{P}/\$}}\text{\$}$, а наращенная за год сумма составит $\frac{X}{E_{\text{P}/\$}}(1 + i_{US})\text{\$}$.

Таким образом, чтобы сделать выбор, инвестору достаточно сравнить 2 результата: $X(1 + i_{RU})\text{P}$ и $\frac{X}{E_{\text{P}/\$}}(1 + i_{US})\text{\$}$. Теория паритета процентных ставок полагает, что суммы будут эквивалентны. Средства в долларах, конвертированные по окончании срока депозита в рубли по курсу $E_{\text{P}/\e , будут составлять точно $X(1 + i_{RU})\text{P}$, т.е.:

$$X(1 + i_{RU}) = \frac{X}{E_{\text{P}/\$}}(1 + i_{US})E_{\text{P}/\$}^e. \quad (1)$$

Далее можно сократить левую и правую часть на X , потому как сумма, которой оперирует инвестор, не влияет на доходность:

$$1 + i_{RU} = \frac{1}{E_{P/\$}} (1 + i_{US}) E_{P/\$}^e. \quad (2)$$

Оставим в левой части только внутреннюю процентную ставку:

$$i_{RU} = \frac{E_{P/\$}^e}{E_{P/\$}} (1 + i_{US}) - 1. \quad (3)$$

Формула (3) в чистом виде отражает идею паритета процентных ставок. Левая часть представляет собой доходность российского депозита $RoR_P = i_{RU}$ (RoR = Rate of Return), потому что процентная ставка описывает относительное увеличение суммы за год (или, в общем случае, другой период) и нет необходимости конвертации валют. Правая часть равенства – доходность иностранного депозита:

$$RoR_{\$} = \frac{E_{P/\$}^e}{E_{P/\$}} (1 + i_{US}) - 1. \quad (4)$$

Вернемся к формуле (3) и сделаем искусственное преобразование, вычтя и прибавив в правой части процентную ставку в США:

$$i_{RU} = \frac{E_{P/\$}^e}{E_{P/\$}} (1 + i_{US}) - 1 - i_{US} + i_{US}. \quad (5)$$

Далее вынесем общий член $(1 + i_{US})$ и получим один из часто используемых видов записи ППС:

$$i_{RU} = i_{US} + (1 + i_{US}) \frac{E_{P/\$}^e - E_{P/\$}}{E_{P/\$}}. \quad (6)$$

Иными словами, если выполняется равенство, инвестору безразлично, в какую из двух стран инвестировать. Если фактическая процентная ставка в России выше расчетной, то доходность российского депозита больше доходности американского, и наоборот.

Во многих учебниках формула упрощается путем отбрасывания в правой части слагаемого, представляющего собой произведение иностранной процентной ставки на относительное изменение валютного курса ($i_{US} * \frac{E_{P/\$}^e - E_{P/\$}}{E_{P/\$}}$). Причина в том, что данное слагаемое обычно очень мало, особенно при низких процентных ставках. Отсюда приближенное уравнение паритета процентных ставок выглядит следующим образом:

$$i_{RU} - i_{\$} = \frac{E_{P/\$}^e - E_{P/\$}}{E_{P/\$}}. \quad (7)$$

Однако, имея дело с последним вариантом уравнения, всегда нужно помнить о его приближенном характере. При высоких процентных ставках, как это было, например, в России в 1990-х годах, его использование приведет к возникновению больших погрешностей, поэтому в таком случае лучше использовать полный вариант.

Таким образом, мы наглядно продемонстрировали, почему «условие, при котором ожидаемая доходность по депозитам в любых двух валютах, будучи измеренной в одной и той же валюте, равна»², называется паритетом процентных ставок.

1.2 Паритет процентных ставок как модель формирования валютного курса

Поведение инвесторов на рынке активов, которое приводит к паритету, также помогает объяснить, почему валютные курсы могут расти и падать в ответ на изменения рынка. Другими словами, паритет процентных ставок может быть использован в качестве модели определения текущего равновесного обменного курса. Для этого нужно выполнить всего лишь простое преобразование в формуле (6), оставив в левой части только значение текущего курса:

$$E_{\text{P}/\$} = \frac{E_{\text{P}/\$}^e * (1 + i_{\text{US}})}{1 + i_{\text{RU}}}. \quad (8)$$

Для начала нужно уточнить описанные ранее в более общих терминах расчеты доходности. Процентные ставки по депозитам будем понимать как средние процентные ставки в двух странах, которые преобладают в настоящее время. Ведь в отличие от единой ключевой ставки, которую устанавливает ЦБ страны, процентные ставки по депозитам устанавливаются каждым банком индивидуально. Аналогично ожидаемый обменный курс будем понимать как усредненные ожидания множества индивидуальных инвесторов. Тогда ставки доходности представляют собой среднюю ожидаемую доходность по различным видам активов между двумя странами.

Инвесторы торгуют валютами на международном рынке (Forex). Каждый день одни приходят туда, чтобы продать свою валюту участникам, которые оказывают на нее спрос, и получить взамен необходимую им валюту.

На рис. 2 изображен рынок американских долларов в Москве. Как обычно, на горизонтальной оси откладывается величина предложения валюты и спроса на нее, на

² Колесов В.П., Кулаков М.В. Международная экономика: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2004. 474 с. – С.305

вертикальной оси – цена, т.е. обменный курс, который является ценой на денежном рынке. Кривая $S_{\$}$ отражает предложение долларов в обмен на рубли при разных обменных курсах.

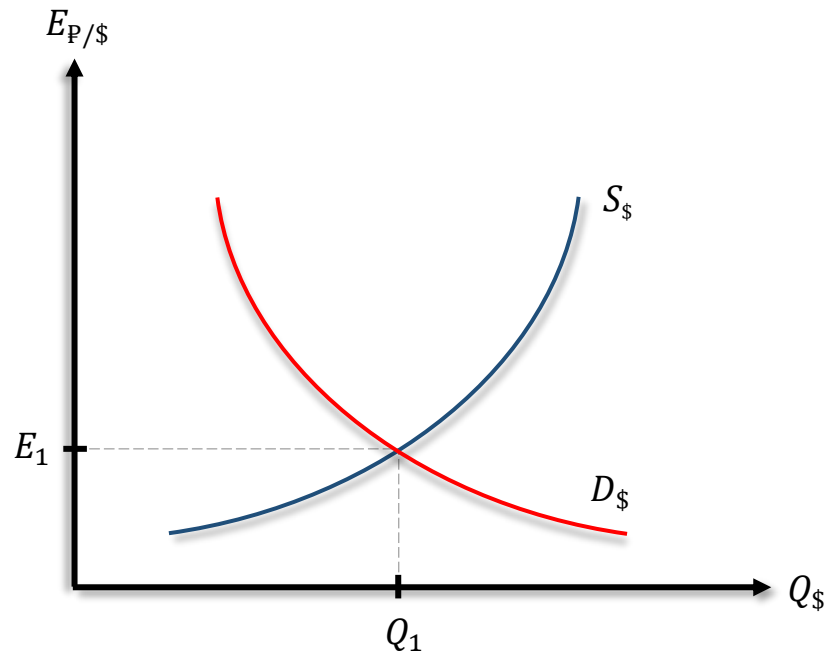


Рисунок 2 Взаимодействие спроса и предложения на международном валютном рынке (Forex)

Источник: Suranovic, S., 2010. International trade: Theory and policy. The Saylor Foundation. – P. 824.

Предложение долларов может исходить со стороны американских инвесторов, которые по каким-либо причинам нуждаются в рублях, а также от российских субъектов, которые решили конвертировать полученные при ранее совершенных сделках доллары. Кривая $D_{\$}$ отражает спрос на доллары в обмен на рубли при различных котировках обменного курса. Спрос обычно исходит со стороны российских инвесторов, покупающих доллары, за которые осуществляется большинство сделок на международном рынке. Конечно, спрос может также исходить и со стороны американских инвесторов, которые решили конвертировать ранее приобретенные рубли.

Напомним, доходность американских активов можно рассчитать по формуле:

$$RoR_{\$} = i_{US} + (1 + i_{US}) \frac{E_{P/\$}^e - E_{P/\$}}{E_{P/\$}}. \quad (9)$$

Соотношение (9) подразумевает падение доходности инвестиций в США при укреплении доллара (т.е. росте курса $E_{P/\$}$) и, соответственно, ослаблении рубля. Это значит, что американские инвесторы будут стремиться продать больше долларов по высокой цене, в то время как российские будут снижать спрос на них. Это объясняет отрицательный наклон

кривой спроса и положительный наклон кривой предложения. Пересечение спроса и предложения определяет равновесный обменный курс и количество долларов, торгуемых на рынке.

Такой способ наглядно показывает, как действия инвесторов по покупке и продаже валюты приводят рынок в равновесие, однако не визуализирует сам паритет. Для этого более удобен альтернативный графический подход: так называемая диаграмма доходности. Как следует из названия, она изображает доходности активов в двух странах как функции от обменного курса. Условие равновесия отражает условия паритета процентных ставок. В сущности, диаграмма определяет равновесный обменный курс, который должен установиться для выполнения паритета процентных ставок.

Напомним историю инвестора, владеющего рублями и сравнивающего 2 варианта: положить деньги на год на депозит в банк России или США. Доходность российского депозита для него просто равна внутренней процентной ставке:

$$RoR_{\text{P}} = i_{RU}. \quad (10)$$

Формула доходности американского актива более сложная. Она зависит от процентной ставки в США, текущего валютного курса ($E_{\text{P}/\$}$) и ожидаемого валютного курса ($E_{\text{P}/\e):

$$RoR_{\$} = \frac{E_{\text{P}/\$}^e}{E_{\text{P}/\$}} (1 + i_{US}) - 1. \quad (11)$$

На рис. 3 построены графики обоих уравнений доходности в зависимости от величины спот-курса. Т.к. RoR_{P} не зависит от величины обменного курса (т.е. просто равна средней ставке по депозитам, устанавливаемой национальными банками, не зависимо от курса валюты), на графике она изображена в виде вертикальной линии на уровне средней процентной ставки в России (i_{RU}). Это означает, что вне зависимости от того, растет или падает обменный курс, доходность депозитов внутренних инвестиций всегда неизменно равна процентной ставке в этой стране.

Однако доходность заграничных депозитов есть функция от обменного курса. На самом деле, между переменными наблюдается обратная зависимость. Взглянем на альтернативную (эквивалентную) формулу для доходности долларовых вложений:

$$RoR_{\$} = i_{US} + (1 + i_{US}) \frac{E_{\text{P}/\$}^e - E_{\text{P}/\$}}{E_{\text{P}/\$}}. \quad (12)$$

Дробь здесь означает ожидаемое процентное изменение стоимости доллара.

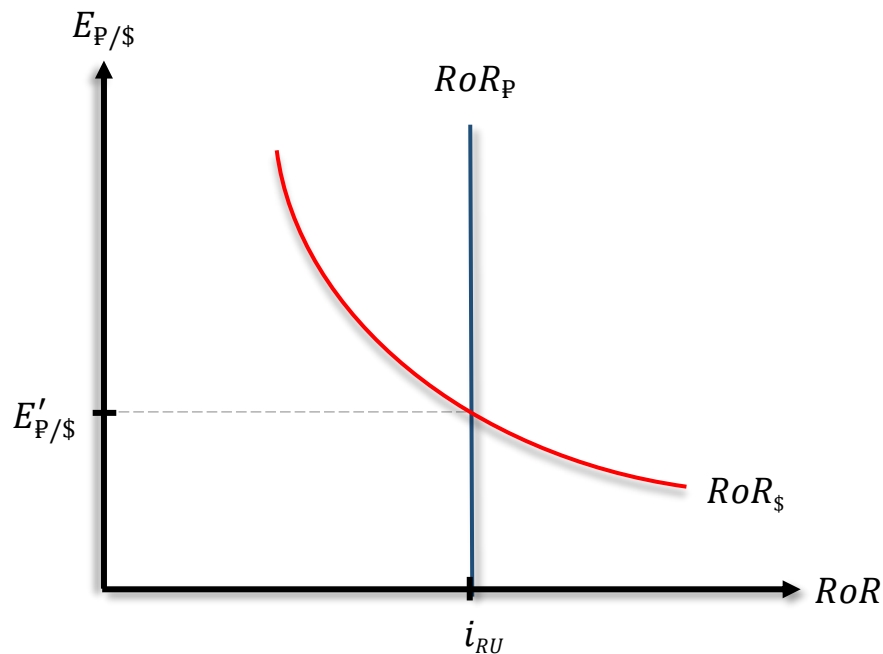


Рисунок 3 Диаграмма доходности депозитов в рублях и в долларах США

Источник: Suranovic, S., 2010. International trade: Theory and policy. The Saylor Foundation. – P. 834.

Предположим, что оно (ожидаемое процентное изменение) предвидится положительным. Это будет означать, что инвесторы верят в укрепление доллара на протяжении периода, на который они инвестируют свои деньги. Рост ожидаемого в будущем курса ($E_{P/\e) приведет к увеличению доходности американских депозитов. Далее предположим, что вырастает текущий обменный курс. При прочих равных, как мы полагали ранее, ожидаемый обменный курс будет оставаться неизменным. Это будет означать, что числитель дроби будет уменьшаться, как и все выражение в целом. Такое изменение объясняется тем, что ожидаемые инвесторами оценки доллара падают, а вслед за ними и доходность. Следовательно, мы получаем отрицательную связь между текущим обменным курсом денежной единицы страны и доходностью инвестиций в нее.

Пересечение двух кривых доходности на диаграмме определяет единственное значение обменного курса, которое уравнивает доходности в двух странах. Это то же самое равновесное значение, что и в модели спроса и предложения. В дальнейшем, при рассмотрении механизма установления равновесного обменного курса, будем рассматривать оба подхода сразу, поскольку они взаимосвязаны. Любые отклонения от паритета процентных ставок (т.е. равенства доходностей) являются причиной изменения спроса и предложения со стороны, под действием которых обменный курс возвращается к уровню, необходимому для достижения паритета.

1.3 Анализ влияния внешних шоков на равновесие в модели ППС

В любой модели все переменные делятся на экзогенные – заданные из вне, и эндогенные – определяемые внутри модели. В модели паритета процентных ставок эндогенными являются значение обменного курса и менее значимая переменная – количество валюты, циркулирующее на рынке Forex. Экзогенные переменные в рассматриваемой модели – это те, которые влияют на расположение кривой доходности: процентная ставка в США, процентная ставка в России и ожидаемый обменный курс на конец срока инвестирования.

Чтобы понять механизм установления равновесия в модели, полезно разобрать, как изменения в экзогенных переменных повлияют на значения эндогенных, ответить на вопросы вида: «Что произойдет с валютным курсом рубля, если возрастут процентные ставки в США?» Когда возникает подобный вопрос, в экономике используется принцип «при прочих равных» (лат. *ceteris paribus*). Это означает, что мы изучаем влияние изменения интересующей нас переменной, предполагая неизменными значения всех остальных экзогенных переменных. Таким образом, если нас интересует, что произойдет с обменным курсом (эндогенной переменной) при росте процентной ставки в США (экзогенной переменной) при прочих равных, то «при прочих равных» означает, что процентная ставка в России и ожидаемый в будущем валютный курс рассматриваются фиксированными.

Воздействие изменения процентной ставки в России

Как и раньше будем рассматривать рынок долларов в Москве. Предположим, изначально Forex находится в равновесии ($D_{\$} = S_{\$}$, см. рис. 4а), что одновременно означает соблюдение паритета процентных ставок ($RoR_{\$} = RoR_{P}$, см. рис. 4б), при обменном курсе E_1 . Допустим, средняя процентная ставка в России (i_{RU}) выросла при прочих равных. На первом шаге рост процентной ставки вызовет рост доходности российских активов (RoR_P), т.е. сдвинет кривую доходности рублевых депозитов вправо (рис. 4б). При курсе E_1 рублевые депозиты станут выгоднее долларовых ($RoR_{\$} < RoR_P$), что мотивирует российских инвесторов к переключению на внутренние инвестиции и снизит спрос на доллары. Сложившаяся ситуация также вызовет рост предложения долларов на Форексе, т.к. американские инвесторы будут стремиться инвестировать в более доходные российские активы. В терминах рис. 4(а) кривая $D_{\$}$ будет сдвигаться влево, в то время, как $S_{\$}$ – вправо.

Изменение в спросе на Форексе поднимает курс валюты, депозиты в которой приносят большую доходность (в нашем случае – рубли), и ослабляет другую валюту (доллар). По мере снижения обменного курса ($E_{P/\$}$), будет расти доходность американских активов, т.к. $RoR_{\$} = \frac{E_{P/\$}^e}{E_{P/\$}} (1 + i_{US}) - 1$. Когда обменный курс достигнет значения E_2 , доходности рублевых и

долларовых депозитов сравниваются, т.е. восстановится паритет процентных ставок ($RoR_{\$} = RoR_{\text{Р}}$). В точке равновесия нет никаких сил, оказывающих дальнейшее давление на обменный курс, поэтому рынок остается в равновесии.

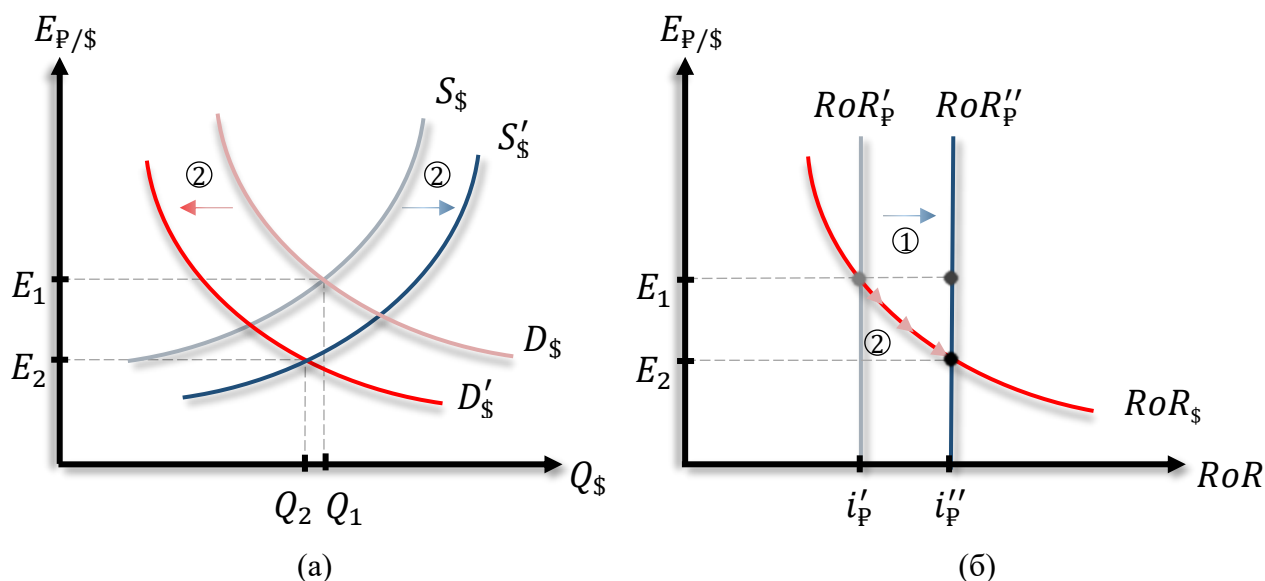


Рисунок 4 Влияние изменения процентной ставки в России на курс рубля к доллару

Составлено по: Suranovic, S., 2010. International trade: Theory and policy. The Saylor Foundation. – P. 827, 840.

Данный механизм установления нового равновесия также применим для ситуации, когда по какой-либо причине установился слишком высокий обменный курс.

Таким образом, при прочих равных рост российских процентных ставок вызывает укрепление рубля и ослабление доллара. Напротив, снижение процентных ставок в России снижает доходность рублевых инвестиций по сравнению с долларовыми, стимулирует спрос инвесторов на американские активы, в результате чего происходит рост обменного курса (укрепление доллара и ослабление рубля)

Воздействие изменения процентной ставки в США

Предположим, изначально Forex находится в равновесии ($D_{\$} = S_{\$}$, см. рис. 5а), что означает и соблюдение паритета процентных ставок ($RoR_{\$} = RoR_{\text{Р}}$, см. рис. 5б), при обменном курсе E_1 .

Допустим, средняя процентная ставка в США (i_{US}) выросла при прочих равных. Формула (4) наглядно демонстрирует, что рост процентных ставок (i_{US}) вызовет рост доходности активов США ($RoR_{\$}$), т.е. сдвиг кривой вправо вверх (рис. 5б). При курсе E_1 они станут выгоднее российских ($RoR_{\$} > RoR_{\text{Р}}$). Возникшая возможность арбитража вызовет рост предложения рублей на международном валютном рынке, т.к. российские инвесторы будут

перемещать капитал в страну с более высокой отдачей на активы. Это также снизит спрос на рубли со стороны американских инвесторов, которые предпочтут инвестировать дома, нежели за границей. В терминах рис. 5(а) кривая $D_{\$}$ будет сдвигаться вправо, в то время, как $S_{\$}$ – влево.

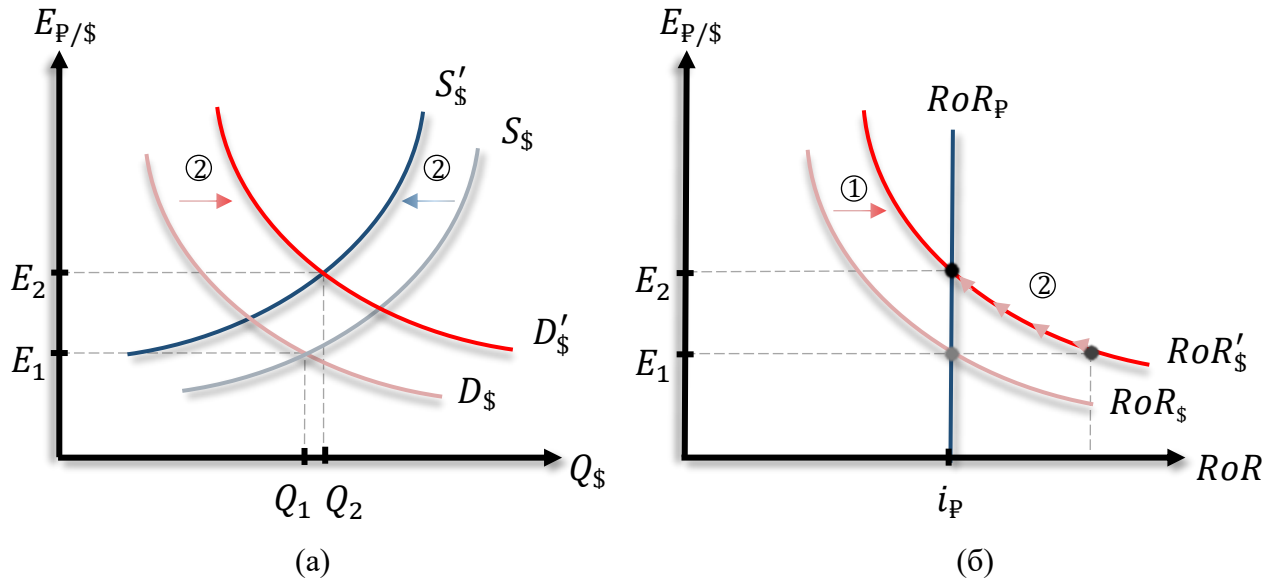


Рисунок 5 Влияние изменения процентной ставки в США на отношение в валютной паре доллар-рубли

Составлено по: Suranovic, S., 2010. International trade: Theory and policy. The Saylor Foundation. – P. 828, 844.

Изменение в спросе на Форексе поднимает курс валюты, депозиты в которой приносят большую доходность (в нашем случае – доллары), и ослабляет другую валюту (рубли). По мере роста обменного курса ($E_{\$/\$}$), доходность американских активов будет снижаться, т.к. $RoR_{\$} = \frac{E_{\$/\$}^e}{E_{\$/\$}} (1 + i_{US}) - 1$. В результате $RoR_{\$}$ продолжит падать до тех пор, пока снова не восстановится паритет $RoR_{\$} = RoR_P$.

Данный механизм установления нового равновесия также применим для ситуации, когда по какой-либо причине установился слишком низкий обменный курс.

Таким образом, при прочих равных рост процентных ставок в США вызывает укрепление доллара и ослабление рубля. Напротив, снижение американских процентных ставок повышает доходность рублевых инвестиций по сравнению с долларовыми, стимулирует спрос инвесторов на российские активы, в результате чего происходит снижение обменного курса (ослабление доллара и укрепление рубля).

Воздействие изменения ожидаемого обменного курса

Предположим, изначально Forex находится в равновесии ($D_{\$} = S_{\$}$, см. рис. 6а), что означает и соблюдение паритета процентных ставок ($RoR_{\$} = RoR_P$, см. рис. 6б), при

обменном курсе E_1 . Предположим, инвесторы при прочих равных внезапно стали ожидать будущего роста обменного курса доллара (т.е. его укрепления) относительно предыдущих ожиданий. Это означает, что наступил один из четырех равносильных вариантов:

- раньше инвесторы рассчитывали на рост американской валюты до X руб. за шт., теперь же, согласно их ожиданиям, за 1 доллар можно будет получить еще больше;
- инвесторы ожидали обесценения доллара, в то время как теперь их опасения снизились;
- инвесторы ожидали некоторое ослабление рубля, теперь же они ожидают еще большего;
- инвесторы ожидали увеличения стоимости рубля, теперь они ожидают, что его рост будет менее значительным.

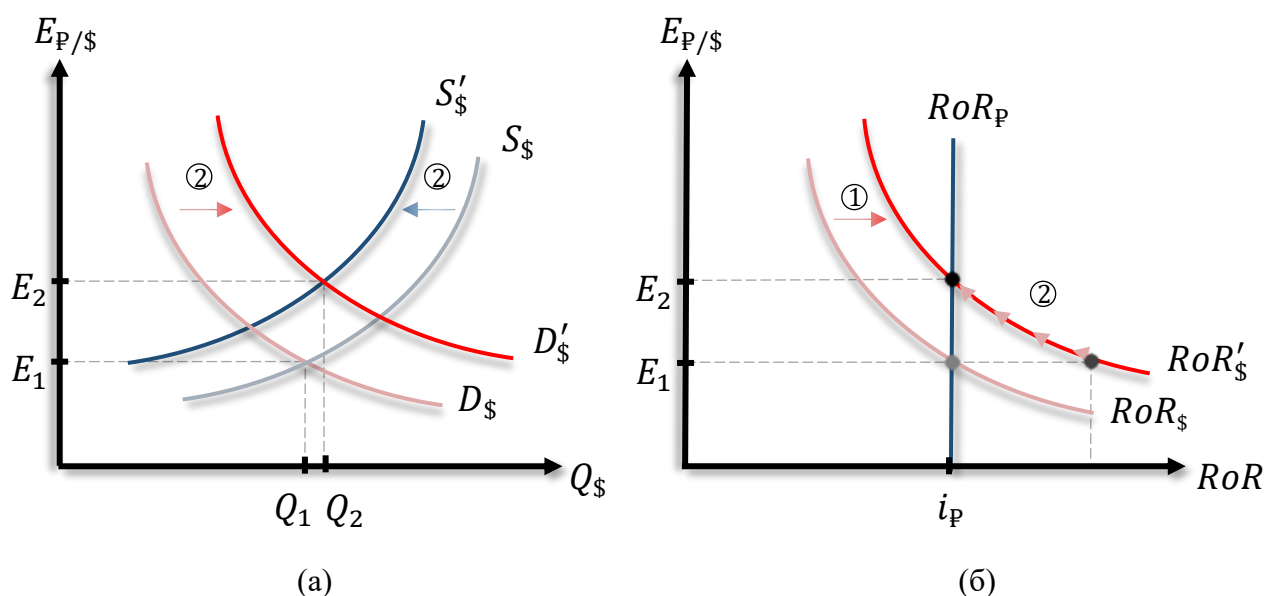


Рисунок 6 Влияние изменения ожиданий инвесторов на отношение в валютной паре доллар-рубль

Составлено по: Suranovic, S., 2010. International trade: Theory and policy. The Saylor Foundation. – P. 830, 848.

Изменение ожиданий может быть вызвано новой информацией, поступившей на рынок. Например, если ФРС США выпускает информацию о намерении поднять базовую ставку, инвесторы, скорее всего, станут ожидать укрепления доллара в будущем. Причем, новость не обязательно должна быть связана с финансовым миром.

Возросшие ожидания относительно доллара (т.е. рост значения $E_{\$/\text{руб}}^e$) вызовут дисбаланс доходностей в пользу американских активов, которые при обменном курсе E_1 станут более выгодными по сравнению с дешевеющими на их фоне российскими, т.к. $RoR_{\$} =$

$\frac{E_{P/\$}^e}{E_{P/\$}}(1 + i_{US}) - 1$. Рост ожиданий относительно укрепления курса сдвинет вправо линию доходности долларовых депозитов, как это показано на рис. 6б на шаге 1. Дальнейший механизм установления нового равновесия полностью аналогичен рассмотренному выше при изменении процентной ставки в США. Рост доходности американских депозитов вызовет рост спроса на доллары на Форексе, т.к. российские инвесторы будут стремиться приобретать более высокодоходные заграничные активы. Также это приведет к снижению предложения долларов со стороны самих американцев, которые предпочтут инвестировать в свою страну. Таким образом, как показано на рис. 6а, кривая D_P будет сдвигаться вправо, в то время как S_P – влево. По мере роста текущего обменного курса ($E_{P/\$}$), будет снижаться доходность американских активов (см. формулу 11). Когда обменный курс достигнет значения E_2 , доходности рублевых и долларовых депозитов сравняются, т.е. восстановится паритет процентных ставок ($RoR_{\$} = RoR_P$). Новое равновесие установится при более высоком обменном курсе E_2 . Это означает, что рост ожиданий в рассматриваемом контексте вызывает укрепление доллара и ослабление рубля.

Рассмотренный случай иллюстрирует пример самореализующихся ожиданий. Если инвесторы начнут думать, что доллар укрепится в будущем, и будут действовать в соответствии с этими ожиданиями, он действительно начнет расти, оправдывая их ожидания, и наоборот. Также и с любой другой валютой.

1.4 Покрытый и непокрытый паритет процентных ставок

Различают покрытый и непокрытый паритеты процентных ставок. При непокрытом паритете ожидаемый в будущем курс четко не определен. При покрытом паритете предполагается, что курс, установленный форвардным контрактом, равняется ожидаемому курсу в день платежа. Такой контракт дает возможность избежать риска. Стороны заранее договариваются о сделке в определенную дату по определенной цене. Тем самым для продавца осуществляется своего рода страховка от возможности падения иностранной валюты, для покупателя – от возможности подорожания выше установленного договором уровня. Так же как при покрытых процентных ставках, условие паритета покрытых процентных ставок гласит, что доходность на депозиты в национальной валюте и на покрытые депозиты в иностранных валютах должна быть одинакова.

Условие паритета покрытых процентных ставок можно записать, следовательно, в виде

$$i_{RU} = i_{US} + (1 + i_{US}) \frac{F_{P/\$} - E_{P/\$}}{E_{P/\$}}, \quad (12)$$

где $F_{\$/\e – курс доллара по форвардному контракту.

В качестве предпосылок установления непокрытого паритета предполагается:

- отсутствие транзакционных издержек при покупке/ продаже финансовых активов в своей стране и за рубежом, а также покупки/ продажи иностранной валюты;
- полная информация на рынках капитала, т.е. инвесторы знают все о ставках процента в своей стране и за рубежом;
- нейтральность инвесторов к риску.

Сравнивая условие паритета покрытых процентных ставок с условием паритета процентных ставок (непокрытых):

$$i_{RU} = i_{US} + (1 + i_{US}) \frac{F_{\$/\$}^e - E_{\$/\$}}{E_{\$/\$}}, \quad (13)$$

можно заметить, что непокрытый паритет вытекает из покрытого в предположении эффективности рынков, т.е. если форвардный курс является несмещенным предиктором будущего спот-курса. Основное различие состоит в том, что покрытые сделки не связаны с валютным риском, непокрытые – связаны.

Также можно обратить внимание, что если теория покрытого паритета берет в качестве оценки ожиданий относительно будущего курса форвардный курс, то теория непокрытого паритета не предлагает, каким образом эти ожидания измерять в текущий момент времени, что, как будет показано далее, осложняет эмпирические исследования.

Таким образом, паритет процентных ставок можно назвать в некотором смысле побочным результатом установления равновесного валютного курса. Эти два процесса: уравнивание доходностей инвестиций между двумя странами и установление равновесного обменного курса – взаимосвязаны, являются логической цепочкой, в которой изменение в одной модели ведет на следующем шаге к изменению в другой и так далее, пока не установится равновесие. Однако обменный курс можно также представлять как некий механизм, уравнивающий доходности инвестиций между странами. Если он складывается под воздействием свободных колебаний спроса и предложения на рынке, то состояние паритета доходностей должно быть устойчивым в долгосрочной перспективе. «Устойчивым равновесием называют такое состояние экономической системы, когда будучи выведенным из него, она сама возвращается в состояние равновесия за счет внутренних ресурсов и встроенных стабилизаторов»³. Согласно макроэкономической теории, как было

³ Макроэкономика: Учебник/ Г.П. Овчинников, Е.Б. Яковлева – СПб, Бизнес Пресса, 2012 г. 368 с. – С.12

рассмотрено в данной главе, любые состояния, характеризующиеся возможностью арбитража, носят временный характер. В конечном итоге рынок всегда приходит в равновесное состояние с соблюдением паритета процентных ставок. Проблема может возникать, если уравнивающий «механизм» работает неправильно, то есть если валютный курс устанавливается не свободно, а по каким-либо причинам подвержен воздействию других факторов, кроме спроса и предложения со стороны инвесторов.

1.5 Форвардный и спотовый валютный курс

Поскольку взаимодействие между обменным курсом и процентными ставками является основой теории паритета процентных ставок, имеет смысл обсудить, что понимается под обменным курсом. Если с процентными ставками все относительно просто: под ними подразумеваются процентные ставки по банковским депозитам, то с валютным курсом дела обстоят несколько сложнее. В общем виде теория паритета процентных ставок оперирует двумя видами валютного курса: ожидаемый и текущий. Кроме того, как было рассмотрено выше, теория ППС имеет две версии: покрытый и непокрытый паритет процентных ставок. Вместе они используют понятие обменного курса много раз. Важно разобраться, какой применяется в каждом конкретном месте. Для удобства см. табл. 1.

Таблица 1 Обменные курсы в теории паритета процентных ставок

Курс \ Паритет	Покрытый	Непокрытый
Текущий	Спот-курс	Спот-курс
Ожидаемый	Форвард-курс	?

Под текущим обменным курсом обе версии имеют в виду спотовый обменный курс. «Спот-рынок – это рынок немедленной поставки валюты. Сделками спот называют валютные операции, платежи по которым осуществляются максимум на второй рабочий день после заключения»⁴. То есть спотовый курс – это текущий обменный курс на каждый момент времени. Различие же появляется при переходе к ожидаемому курсу. Теория покрытого паритета использует в качестве него форвардный курс. «Форвардные валютные операции – это сделки по обмену валют по заранее согласованному курсу, которые заключаются сегодня с исполнением через определенный срок по курсу, зафиксированному на момент заключения

⁴ Мировые финансы. В 2 т. Том 1: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / под общ. ред. М.А. Эскиндарова, Е.А. Звоновой. – М.: Издательство Юрайт, 2018. 373 с. – С. 173

сделки»⁵. Несложно догадаться, что форвардные сделки используются с целью страхования валютного риска.

В то же время теория непокрытого паритета не предлагает какого-либо конкретного инструмента для оценки ожидаемого курса. На практике все зависит от исследователя. Зачастую, когда исследование проводится на исторических данных, в качестве ожидаемого курса берутся лагированные значения спотового обменного курса. Отдельный вопрос в том, насколько это допустимо. Ведь в таком случае мы полагаем, что ожидания относительно курса полностью воплотились в жизнь. То есть дополнительно накладываем гипотезу о рациональности ожиданий, считать выполнение которой априорным, вообще говоря, недопустимо. Также будущий обменный курс может определяться на основе ожиданий инвесторов, выявленных посредством опроса. Однако в этом случае нужно ответственно подойти к проведению опроса, чтобы получить статистически достоверные результаты.

⁵ Мировые финансы. В 2 т. Том 1: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / под общ. ред. М.А. Эскиндарова, Е.А. Звоновой. С. 176

Глава 2 ОБЗОР МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ПАРИТЕТА ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК

2.1 Проблема тестирования паритета

Гипотеза паритета процентных ставок не нова для экономической науки. Развитие форвардных валютных рынков в конце 19-го века привнесло понятие процентного арбитража в книги для практиков (Dent, 1920). Дж. М. Кейнс (1924) рассматривал условия паритета и причины отклонений от него. Однако оказалось, что паритет процентных ставок выполняется только для некоторых стран и/или на отдельных временных отрезках. Marston (1976), используя регрессионный анализ на промежутке 1965-1971 гг. показал, что в целом ППС держится на евро-валютных рынках. Однако Kreicher (1982) получил другие результаты для иных периодов времени. Он нашел тесную связь между денежными рынками США и еврозоны в 1975-1980 гг. Эмпирические исследования предполагают, что для разных денежных рынков не всегда выполняются условия поддержания паритета.

Сразу оговоримся, что при дальнейшем рассмотрении методов мы не делаем большой акцент на том, какой именно паритет (покрытый или непокрытый) тестирует тот или иной автор, за исключением ситуаций, когда метод может быть использован для проверки только одной из гипотез. В общем же случае методы применимы для тестирования обоих видов паритета. Разница заключается лишь в том, какие данные брать в качестве текущих ожиданий относительно будущего обменного курса (E_t^e). В случае покрытого паритета считается, что эти ожидания выражаются в ценах по форвардным контрактам, поэтому оценкой обменного курса на момент $t + k$ служит сегодняшний форвардный курс по контрактам на срок $t + k$. С непокрытым паритетом дело обстоит сложнее, ведь в данном случае теория не указывает конкретный инструмент для оценки E_t^e . Поэтому, как правило, в исследованиях ожидания обменного курса измеряются обменным курсом, фактически достигнутым ex-post.

При дальнейшем обсуждении методов условимся использовать следующие типовые обозначения:

- 1) i_t – внутренняя («домашняя») процентная ставка в момент времени t ;
- 2) i_t^* – зарубежная процентная ставка в момент времени t ;
- 3) E_t – текущий обменный курс в момент времени t ;
- 4) E_t^e – ожидаемый в момент времени t обменный курс на момент $t + k$

2.2 Методы, основанные на непосредственной проверке равенства между частями уравнения паритета

Первый метод

Первый метод является самым простым и очевидным. Его идея напрямую вытекает из преобразования уравнения паритета, которое изначально было введено нами следующим образом:

$$i_t = i_t^* + (1 + i_t^*) \frac{E_t^e - E_t}{E_t}. \quad (14)$$

Отсюда:

$$\frac{i_t - i_t^*}{1 + i_t^*} = \frac{E_t^e - E_t}{E_t}. \quad (15)$$

Далее рассмотрим левую и правую части уравнения отдельно:

$\begin{aligned} \frac{(i_t + 1) - 1 - i_t^*}{1 + i_t^*} &= \frac{1 + i_t}{1 + i_t^*} - 1 \\ &\approx i_t - i_t^* \text{ (если } i_t > i_t^*) \\ &= d_t \\ &\text{— дифференциал процентных ставок} \end{aligned}$	$\begin{aligned} \frac{E_t^e - E_t}{E_t} &= \frac{E_t^e}{E_t} - 1 \approx \ln(E_t^e) - \ln(E_t) \\ &= f_t \text{ — форвардная премия} \end{aligned}$
--	--

Метод основывается на проверке того, значимо ли фактическое отклонение от паритета (разность между процентным дифференциалом и форвардной премией) от нуля (Taylor и Tchernyck-Branson, 2004; Takezawa, 1995; Taylor, 1989; Fletcher и Taylor, 1994; Batten и Szilagyi, 2010). Другими словами, в данном случае паритет процентных ставок рассматривается как равенство процентного дифференциала и форвардной премии.

При этом подходе необходимо на основе первоначальных данных рассчитать новый временной ряд: $Y_t = d_t - f_t$. Для удовлетворения гипотезы о выполнении паритета процентных ставок должны быть удовлетворены следующие условия:

- 1) $Y_t \sim I(0)$ — стационарность;
- 2) $EY_t = 0$.

2.3 Методы, основанные на проверке коэффициентов коинтеграционного уравнения

Самый популярный тип методов в исследованиях, связанных с тестированием ППС, получил множество вариаций. Рассмотрим некоторые из них.

Второй метод

В основе второго метода тестирования паритета процентных ставок лежит регрессия процентного дифференциала на отношение ожидаемого в будущем обменного курса к текущему:

$$d_t = \alpha + \beta \frac{E_t^e}{E_t} + \varepsilon_t, \quad (16)$$

где $d_t = i_t - i_t^*$ – дифференциал процентных ставок.

Если паритет выполняется, то α и β должны быть равны нулю и единице соответственно.

Данный метод на первый взгляд может показаться более легким по сравнению с первым. Однако здесь необходимо понимание того, что в левой и правой части регрессии временные ряды. И фактически суть заключается в проверке коинтеграции рядов из левой и правой части с вектором (1; -1), для которой можно применить подход Энгла-Грейнджера. Поскольку регрессия с некоинтегрированными рядами является ложной и не подлежит дальнейшему изучению, на первом этапе необходимо выяснить порядок интегрируемости временных рядов в левой и правой части уравнения. Оба должны быть как минимум I(1), чтобы построение регрессии, проверка стационарности остатков и дальнейшее тестирование коэффициентов имело смысл. Также оба ряда могут быть стационарны, что менее вероятно для реальных данных. Однако в этом случае построение регрессии и проверка коэффициентов также будут возможны.

Второй метод применялся многими исследователями на различных данных и временных горизонтах. Более давние работы (Branson, 1969; Popper, 1993) не уделяли внимание тому, что в регрессии задействованы временные ряды. Maenning и Tease (1987) допускали наличие автокорреляции, но не тестировали коинтеграцию. Moosa и Bhatti (1996) и Gurvich (2009) нашли коинтеграцию между доходностями внутренних и зарубежных активов.

Третий метод

Sabine Hermann и Axel Jochem (2003)⁶ использовали теорию паритета процентных ставок для проверки степени интеграции финансовых рынков стран-кандидатов на вход в еврозону с финансовым рынком ЕС. Они тестировали коэффициенты практически такой же регрессии, как и в предыдущем варианте, только без приближения процентного дифференциала:

⁶ The international integration of money markets in the central and east European accession countries: deviations from covered interest parity, capital controls and inefficiencies in the financial sector. Sabine Herrmann, Axel Jochem. Discussion paper 07/03. Economic Research Centre of the Deutsche Bundesbank.

$$\frac{1+i_t}{1+i_t^*} = \alpha + \beta \frac{E_t^e}{E_t} + \varepsilon_t. \quad (17)$$

При нулевой гипотезе о выполнении паритета константа α ожидается равной 0, коэффициент β – равным 1.

Исследование проводилось на временном промежутке с 1999 г. по середину 2002 г. и показало, что, основываясь на концепции ППС, рынки сбыта в Польше, Чехии, Венгрии и Словакии имели на конец периода высокую степень международной интеграции с еврозоной (в каждой из пар гипотеза о ППС не была отвергнута). Наблюдаемая же сегментация, была обусловлена как ограничениями на краткосрочные движения капитала, так и медленным развитием финансовых секторов в странах-кандидатах на вступление в ЕС.

Четвертый метод

В статье из журнала, публикуемого Министерством финансов Франции, «Trésor-Economics»⁷, в качестве традиционного теста рассматривается метод, схожий с рассмотренным выше. Идея в том, чтобы наоборот регрессировать изменение обменного курса на процентный дифференциал:

$$E_t^e - E_t = \alpha + \beta d_t + \varepsilon_t. \quad (18)$$

Для подтверждения паритета измеренные ожидаемые значения обменного курса должны меняться в том же направлении и в тех же порядках, что и дифференциал процентных ставок. Это означает, что оцененный коэффициент β должен быть равен 1. При этом константа α может отличаться от нуля, не опровергая теории: например, постоянная премия за риск, включенная в процентный дифференциал, повлечет за собой ненулевую константу, не обязательно отвергая гипотезу о том, что дифференциал процентных ставок отражает ожидаемые изменения обменного курса.

Эмпирические исследования показывают, что взаимосвязь между процентными ставками и обменными курсами лучше проверяется в долгосрочной перспективе (более 1 года), и когда процентные дифференциалы являются достаточно большими. В краткосрочном периоде напротив взаимоотношение между процентными ставками и обменными курсами в развитых странах неустойчиво и в среднем имеет тенденцию отображать противоположный знак тому, что был предсказан по модели паритета процентных ставок.

Например, Froot (1990)⁸ обобщил результаты 75 работ, тестирующих непокрытый паритет процентных ставок на временном горизонте до 1-го года, с предполагаемо

⁷ Sébastien Hissler. «Do interest rates help to predict exchange rates?». Journal «Trésor-Economics», Ministère de l'Économie et des Finances. No. 15 – June 2007, 8 p.

⁸ Froot (1990): “Short rates and expected asset returns”, NBER, Working Paper no. 3247

рациональными инвесторами, и показал, что, согласно полученным моделям, в среднем при увеличении краткосрочной процентной ставки на 100%, валюта обесценивается на 0.88% в следующем году, в то время как, согласно непокрытому паритету процентных ставок, она должна была вырасти на 1%. Тот же тест (18), проведенный на панельных данных обменных курсов развитых стран и с использованием более поздних наблюдений, подтверждает этот результат: между 1980 и 2004 гг. Meredith и Chinn (2005)⁹ показали, что гипотеза о непокрытом паритете процентных ставок отклоняется для временного горизонта сроком до 12 месяцев: страна с процентной ставкой на 100 базисных пунктов выше в среднем ожидает обесценения своей валюты на 0.5% на временном промежутке в 1 год. Однако уже на 3-летнем горизонте эконометрические оценки указывают в том же направлении, что и теория ППС, а на 5- и 10-летнем промежутке становятся все ближе к теоретической связи.

Пятый метод

Условие непокрытого паритета процентных ставок выглядит следующим образом:

$$\ln E_t^e - \ln E_t = i_t - i_t^* + \varepsilon_t. \quad (19)$$

Одним из наиболее распространенных в эмпирических исследованиях методов является тестирование непокрытого паритета процентных ставок с помощью регрессионного анализа. Используя теорию паритета покрытых процентных ставок (CIP), можно вывести OLS регрессию для тестирования исходной гипотезы. Покрытый паритет процентных ставок говорит о том, что номинальная домашняя процентная ставка должна быть выше номинальной иностранной процентной ставки на величину форвардного дисконта на домашнюю валюту. Разница между покрытым и непокрытым паритетом процентных ставок в том, что при первом неопределенность относительно будущего обменного курса элиминируется посредством форвардного курса. Таким образом, уравнение покрытого паритета процентных ставок:

$$i_t = i_t^* + \ln F_t - \ln E_t, \quad (20)$$

где F_t — обменный курс на k периодов вперед по форвардному контракту, заключенному в момент времени t .

Если подставить i_t из уравнения (20) (CIP) в уравнение (19), получим регрессию вида:

$$\ln E_t^e - \ln E_t = \alpha + \beta (\ln F_t - \ln E_t) + \varepsilon_t, \quad (21)$$

где F_t — обменный курс на момент времени $t+k$ по текущему форвардному контракту.

⁹ Chinn and Meredith (2005): “Testing uncovered interest parity at short and long horizons during the post-Bretton Woods era”, NBER, Working Paper no. 11077

Ранее, при эмпирических исследованиях этой взаимосвязи Cumby, Obstfeld (1984), Boothe, Longworth (1986) и Engel (1996) пришли к неожиданному результату. Они получили отрицательные оценки параметра β , близкие к -1. Это означает, что в ситуации, когда внутренняя процентная ставка выше, чем за границей, форвардная премия ведет иррациональному. Такие результаты приводили к

Teresa M. Foy (2005)¹⁰ тестировала таким способом гипотезу непокрытого паритета процентных ставок для фунта, иены и канадского доллара по отношению к доллару США на ежедневных данных спот-курса и одномесячного форвард-курса в единицах иностранной валюты за 1 доллар США в период с 1986 по 1998 гг. Критериями выбора послужили свободное плавание валют, а также открытость рынков капитала в соответствующих странах. Исследование проводилось на основе вторичных данных, которые собрали Maynard и Phillips (2001)¹¹ для своей работы. В качестве удовлетворяющих гипотезе ППС также рассматривались жесткие условия: $\alpha = 0, \beta = 1$. Во всех трех парах гипотеза о наличии ППС была отвергнута. Только в паре фунт-доллар США константа оказалась равной нулю, а коэффициент β во всех трех случаях имел отрицательные оценки. Поскольку $t + k > 1$, исследователь предполагает возможное наличие автокорреляции в ошибках OLS регрессии, что приводит к неправильным оценкам стандартных ошибок коэффициентов и, как следствие, неверным результатам тестов, использующих t - и F -статистики, что как раз может приводить к ложному отвержению проверяемых гипотез ($\alpha = 0, \beta = 1$). Во избежание этого далее Teresa M. Foy использовала оценку ковариационной матрицы в форме Ньюи-Уеста. В этом случае по-прежнему отвергается гипотеза о равенстве единице коэффициента β для Японии и Канады (в парах с США, соответственно), однако гипотеза не была отвергнута для случая Великобритании – США. Кроме того, константа в оцененном уравнении также оказалась не значима, как и требует теория ППС.

При проверке обоих условий сразу (тест на линейные ограничения) модель с ограничениями выглядит следующим образом:

$$\ln E_t^e - \ln E_t = \ln F_t - \ln E_t + \varepsilon_t, \quad (22)$$

Правая часть просто вычиталась из левой, и рассчитывалась сумма квадратов ошибок. На основании этой суммы и суммы квадратов ошибок из регрессии с ковариационной матрицей в форме Ньюи-Уеста рассчитывается F -статистика. Однако проблема этого метода

¹⁰ Teresa M. Foy. “An empirical analysis of uncovered interest rate parity and the forward discount anomaly”. March 29, 2005. 7 p.

¹¹ Maynard, A., and P. C.B. Phillips (2001): “Rethinking an old empirical puzzle: econometric evidence on the forward discount anomaly”, *Journal of Applied Econometrics*, 16, 671-708.

заключается в том, что он предполагает гомоскедастичность остатков. В то время как в регрессии без ограничений это условие контролируется оценкой Ньюи-Уеста, в модели с ограничениями нет коррекции гетероскедастичности. Тем не менее, F-статистика оказалась значимо большая, что привело к отвержению гипотезы ППС.

Существующая литература подошла к данной проблеме с разных сторон. Эмпирически полученные отрицательные оценки коэффициента β в уравнении (21) являются надежными. Backus, Gregory и Telmer (1993)¹² подтвердили это для канадского доллара, французского франка, марки, иены и фунта по отношению к доллару, используя ежемесячные данные с 1974 по 1990 гг. Все страны в указанный период имели плавающие обменные курсы. Было установлено, что если вместо этого взять данные при фиксированных обменных курсах β становится положительной (хотя нулевая гипотеза о равенстве единице по-прежнему отвергается)¹³.

2.4 Методы, основанные на проверке коэффициентов ЕСМ

Шестой метод

М.Н. Raja и К. Jaweed (2014)¹⁴ в своей работе тестируют покрытый паритет процентных ставок с помощью модели коррекции ошибок (ЕСМ):

$$\Delta \ln E_t^e = \alpha + \beta_1 \Delta \ln E_t \frac{1+i_t}{1+i_t^*} + \beta_2 \hat{u}_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (23)$$

где $\hat{u}_{t-1} = \ln E_{t-1}^e - \gamma \ln E_{t-1}$ – остатки из линейной регрессии (коинтеграционного отношения).

Соответственно, сначала необходимо проверить наличие коинтеграции между ожидаемым в будущем и текущим обменным курсом. При отсутствии долгосрочной связи построение ЕСМ и тестирование коэффициентов не имеет смысла.

При нулевой гипотезе о выполнении паритета константа α ожидается равной 0, коэффициенты β_1, β_2 – равными или близкими к 1.

Авторы исследовали наличие паритета в двух парах валют: австралийский доллар – доллар США и евро – доллар США, используя ежедневные данные с 7 июня 2006 г. по 21

¹² Backus, David; Gregory, A., and C. Telmer (1993): "Accounting for forward rates in markets for foreign currency", *Journal of Finance*, 48, 1887-1908.

¹³ Flood, R.P., and A.K. Rose (1996): "Fixes: of the forward discount puzzle", *The review of economics and statistics*, 78, 748-752.

¹⁴ Mohammad Hamza Raja and Khawar Jaweed (2014): «Covered interest rate parity». Master thesis, University Collage of Oslo and Akershus.

марта 2014 г. Анализ показал, что в среднем паритет держится на данном временном промежутке для обеих пар.

2.5 Обобщение методов тестирования паритета процентных ставок

В табл.2 приведен краткий обзор всех рассмотренных ранее методов тестирования паритета процентных ставок.

Таблица 2 Распространенные методы тестирования паритета процентных ставок

№	Метод	Ограничения на применение метода	Проверяемая гипотеза	Замечания
Методы, основанные на непосредственной проверке равенства между частями уравнения				
1	Рассчитать временной ряд: $Y_t = d_t - f_t,$ где d – дифференциал процентных ставок; f – форвардная премия.	—	$Y_t \sim I(0),$ $EY_t = 0$	—
Методы, основанные на проверке коэффициентов коинтеграционного уравнения				
2	Построить регрессию: $d_t = \alpha + \beta \frac{E_t^e}{E_t} + \varepsilon_t$	Стационарные или коинтегрированные зависимые и независимые переменные.	$\alpha = 0,$ $\beta = 1$	—
3	Построить регрессию: $\frac{1 + i_t}{1 + i_t^*} = \alpha + \beta \frac{E_t^e}{E_t} + \varepsilon_t.$		$\alpha = 0,$ $\beta = 1$	—
4	Построить регрессию: $E_t^e - E_t = \alpha + \beta d_t + \varepsilon_t$		$\beta = 1,$ ограничения для константы отсутствуют	Взаимосвязь лучше проверяется в долгосрочной перспективе (более 1 года), и когда процентные дифференциалы являются достаточно большими.

5	Построить регрессию: $\ln E_t^e - \ln E_t = \alpha + \beta(\ln F_t - \ln E_t) + \varepsilon_t$		$\alpha = 0,$ $\beta = 1$	Проверяет именно непокрытый паритет процентных ставок.
Методы, основанные на проверке коэффициентов ЕСМ				
6	Построить ЕСМ: $\Delta \ln E_t^e = \alpha + \beta_1 \Delta \ln E_t \frac{1+i_t}{1+i_t^*} + \beta_2 \hat{u}_{t-1} + \varepsilon_t,$ где $\hat{u}_{t-1} = \ln E_{t-1}^e - \gamma \ln E_{t-1}$	Наличие коинтеграции между $\ln E_t^e$ и $\ln E_t$.	$\alpha = 0,$ $\beta_1, \beta_2 = 1$	—

На основе анализа предыдущих исследований по данной теме нельзя сделать каких-либо выводов относительно того, какой из методов лучше или хуже. Один и тот же подход, применяемый на различных данных и/или на различных временных промежутках, дает различные результаты. Поэтому повода утверждать, что тот или иной метод склонен чаще отвергать или не отвергать гипотезу также нет. Однако, что касается различия между типами паритета: покрытый/ непокрытый – можно сказать о том, что вторая гипотеза отвергается чаще. Как уже было сказано ранее, теория непокрытого паритета не предлагает, что конкретно использовать в качестве оценки будущего обменного курса в текущий момент. По этой причине выбор данных может повлиять на результаты исследования.

В целом, традиционно используемые в эмпирических исследованиях тесты основаны на нескольких предположениях, отсутствие проверки которых может привести к отвержению гипотезы, даже если паритет действительно работает. Среди этих предположений те, которые касаются проблем определения переменных и методов оценки:

1) Когда ожидания обменного курса измеряются обменным курсом, фактически достигнутым ex-post, традиционная регрессия проверяет двойное предположение о том, что ППС работает и что ожидания разумны.

Хотя оценки, полученные посредством такой спецификации теста, приводят к взаимосвязи, противоречащей предположениям ППС, мы не можем с уверенностью сказать: должна быть отвергнута гипотеза о выполнении ППС или о рациональности инвесторов.

В качестве меры ожидаемого обменного курса могут использоваться данные опроса инвесторов, но возникает следующее: отклонения от ППС сохраняются в краткосрочной перспективе. Тем не менее такое измерение не лишено своих сложностей, поскольку данные опроса отражают только ожидания некоторых агентов относительно обменного курса, и что они могут быть эндогенными для дифференциалов процентных ставок.

2) Невключение существования переменной премии за риск в процентный дифференциал при проведении тестов может привести к ошибочному отказу от ППС.

3) Тест статистически достоверен только в том случае, если дифференциал процентных ставок и ожидаемый обменный курс являются либо стационарными, либо коинтегрированными.

В краткосрочной перспективе это не так, поскольку движения обменного курса являются стационарными, в то время как стационарный характер процентного дифференциала менее ожидаем. Тем не менее, было показано, что краткосрочный дифференциал процентных ставок демонстрирует высокую степень устойчивости и может быть смоделирован посредством стационарного процесса, и что в этом случае обычные тесты на проверку существования ППС показывают сдвиг, который может быть скорректирован. Оценки, полученные с использованием данного метода, позволяют предположить, что сдвиг снова недостаточно для учета отклонения, наблюдаемого в краткосрочной перспективе.

Глава 3 ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О СУЩЕСТВОВАНИИ ПАРИТЕТА ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1 Выбор и описание данных

При переходе непосредственно к тестированию гипотезы первым делом встает проблема выбора данных, а именно валютной пары, для которой будет проводиться исследование. В качестве ключевых критериев для нее были определены следующие:

1) Валюты должны быть свободно плавающими. По крайней мере они должны входить в число валют, на обменные курсы которых, по оценкам экспертов, оказывается наименьшее влияние со стороны государства.

2) Обе валюты в валютной паре должны быть сравнимы по привлекательности с точки зрения инвестора, чтобы их можно было рассматривать как действительно альтернативные варианты для вложения.

3) Валюты должны быть торгуемы на международном валютном рынке Forex и должны принадлежать к числу наиболее популярных, что косвенно позволяет предполагать большую силу воздействия спроса и предложения на механизм установления равновесного валютного курса.

В настоящее время МВФ относит к числу стран с режимом свободно плавающего курса 31 государство, среди которых 19 входят в зону евро¹⁵. Главными валютами, торгуемыми на международном валютном рынке и используемыми в системе глобальных счетов, являются доллар США (обозначение в общепринятом трехбуквенном кодификаторе валют – USD), евро (EUR), японская иена (JPY), британский фунт (GBR), австралийский доллар (AUD) и швейцарский франк (CHF).

Таким образом выбор был остановлен на 3-х валютах. Среди них британский фунт стерлингов (GBR), доллар США (USD) и японская иена (JPY). В предположении о возможной разнице между взаимодействием американской экономики с экономиками «востока» и «запада», было решено рассмотреть взаимодействие в двух парах: доллар США – британский фунт и доллар США – иена.

Описание данных

Анализируемые данные являются первичными и представляют собой 7 временных рядов:

1) i_USA – процентная ставка по депозитам в долларах США сроком на 3 месяца (в %);

¹⁵ Annual Report on Exchange Arrangements and Exchange Restrictions. Washington: International Monetary Fund, 2016.

- 2) i_GBR – процентная ставка по депозитам в британских фунтах стерлинга сроком на 3 месяца (в %);
- 3) i_JPY – процентная ставка по депозитам в иенах сроком на 3 месяца (в %);
- 4) USD/JPY – спотовый обменный курс в японских иенах за 1 доллар США;
- 5) USD/GBR – спотовый обменный курс в долларах США за 1 британский фунт;
- 6) USD/JPY_f – трехмесячный форвардный обменный курс в японских иенах за 1 доллар США;
- 7) USD/GBR_f – трехмесячный форвардный обменный курс в долларах США за 1 британский фунт.

Период наблюдения охватывает временной промежуток с 4 января 2000 г. по 14 марта 2018 г. За указанный отрезок сформировались длинные временные ряды (4747 ежедневных наблюдений), позволяющие получить надежные эконометрические оценки. Исключение составили временные ряды по форвардному обменному курсу, которые исследованы на более коротком промежутке: с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г., что обусловлено более сложным доступом к соответствующим архивным данным. Статистическая информация взята из материалов Федерального резервного банка Сент-Луиса, а также информационной платформы Bloomberg. Принятый в данной работе доверительный интервал – 95% (уровень значимости $\alpha = 0,05$).

3.2 Анализ данных

Все проведенные исследования, а также приведенные в данном параграфе расчеты, распечатки и графики получены при помощи средств языка программирования R. Поскольку для анализа были выбраны 2 пары стран, сначала представлены результаты тестирования непокрытого паритета в обеих парах, затем аналогично по покрытому паритету. Программный код для каждого из рассмотренных ниже вариантов находится в приложении.

3.2.1 Непокрытый паритет

При обсуждении непокрытого паритета мы неоднократно делали акцент на том, что теория оставляет на усмотрение исследователя выбор измерителя ожидаемого обменного курса, не настаивая на каком-либо конкретном показателе. В связи с этим было решено последовать примеру большинства работ, посвященных проверке подобных гипотез, и использовать лагированные значения спот-курса. То есть в качестве E_t^e – ожидаемого обменного курса в момент времени t из уравнения (14) будем использовать значение спот-курса в момент времени $t+90$ (90 дней \approx 3 месяца – для соответствия сроку процентных ставок по депозитам (3 месяца)).

3.2.1.1 США- Великобритания

Программный код, использованный для выполнения данной части исследования на языке R, приведен в приложении 1.

Для начала рассмотрим графики исследуемых временных рядов. Динамика процентных ставок по депозитам в фунтах и долларах США изображена на рис. 7. На основе визуального анализа можно отметить некоторое сходство и предположить наличие коинтеграции между двумя ставками. Кроме того, по графикам видно, что, скорее всего, оба ряда нестационарны.

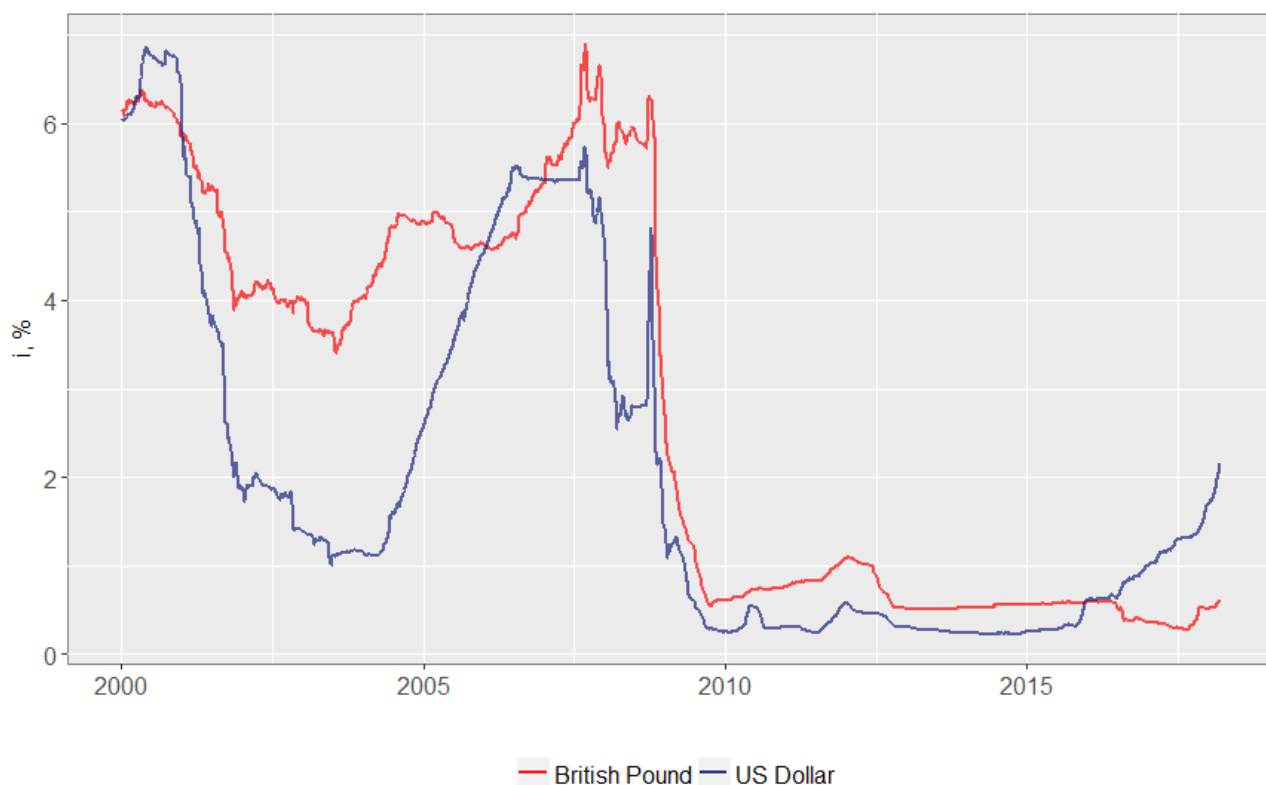


Рисунок 7 Динамика процентных ставок по трехмесячным депозитам в британских фунтах и долларах США

Динамика обменного курса доллара к фунту изображена на рис. 8. Здесь также видно, что ряд нестационарный.

Далее для определения порядка интегрируемости исследуемых рядов будем использовать тесты ADF и ADF-GLS. Нулевая гипотеза в них одинакова.

H_0 : единичный корень есть (ряд не стационарен),

H_1 : не так (ряд стационарен).

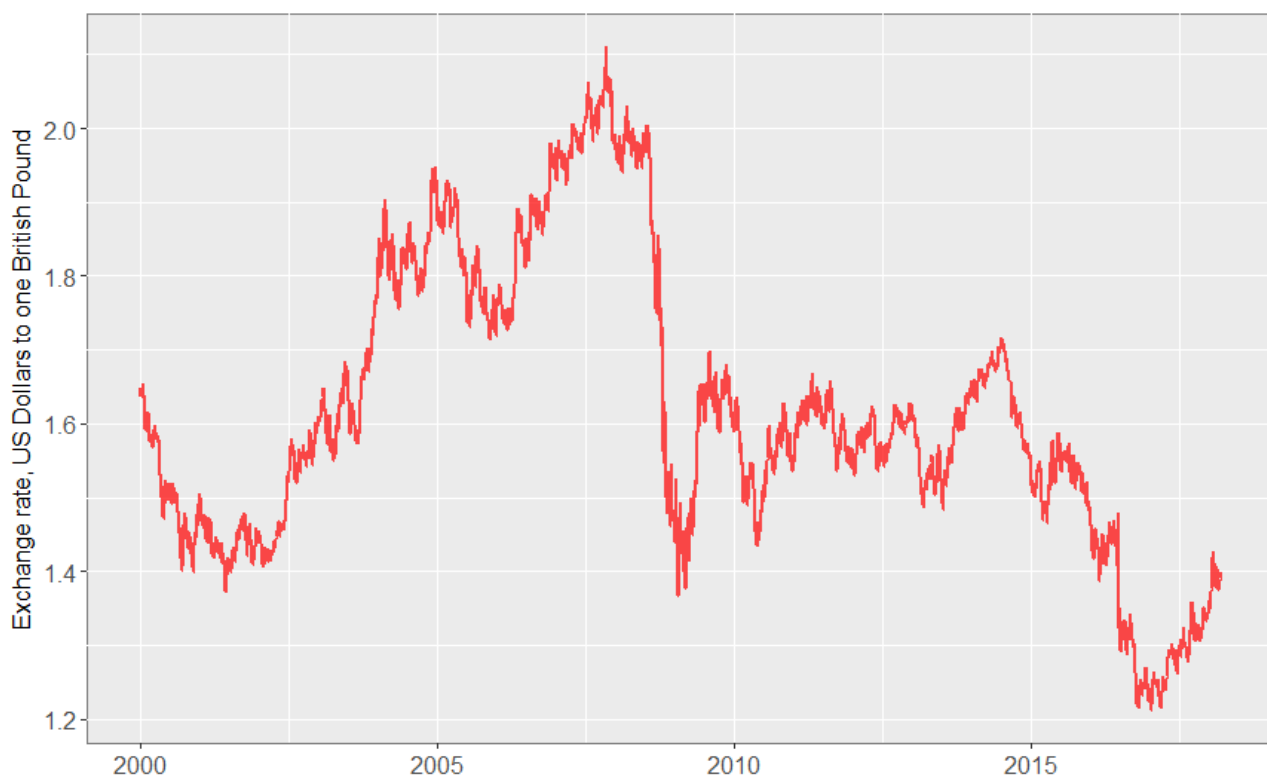


Рисунок 8 Динамика обменного курса доллара США к британскому фунту (в долларах за 1 фунт)

Для большей точности ADF-тест будем проводить не в автоматическом режиме, а «вручную». Так, например, для того, чтобы проверить на стационарность ряд i_GBR_t , необходимо:

1) Построить модель вида: $\Delta i_GBR_t = \alpha + \beta t + \gamma * i_GBR_{t-1} + \varepsilon_t$. Если проверяемый ряд уже является разностью некоторого другого, то временной тренд βt в модель не включается.

Оцененное по МНК уравнение в R имеет следующий вид:¹⁶

Модель 1: МНК, зависимая переменная: Δi_GBR_t

```
Call:
lm(formula = dyn(diff(i_GBR) ~ t + i_GBR_1))
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.06359 -0.00097  0.00085  0.00311  0.21404
```

```
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.391e-03  1.719e-03  -0.809   0.418
t             1.916e-07  4.310e-07   0.445   0.657
i_GBR_1      -8.228e-05  2.626e-04  -0.313   0.754
```

```
Residual standard error: 0.02208 on 4743 degrees of freedom
(2 observations deleted due to missingness)
```

```
Multiple R-squared:  0.0003791,    Adjusted R-squared:  -4.24e-05
F-statistic: 0.8994 on 2 and 4743 DF,  p-value: 0.4069
```

¹⁶ Здесь и далее приведены распечатки из программы R в той форме, в которой они предлагаются пользователю.

2) Протестировать модель из п.1 на автокорреляцию и при необходимости избавиться от автокорреляции путем добавления в модель лагов зависимой переменной. Для проверки автокорреляции будем использовать тест Льюнга-Бокса.

Коррелограмма остатков исходной модели из п.1 изображена на рис. 9. Видно, что значения автокорреляционной функции значимы вплоть до 26-го лага.

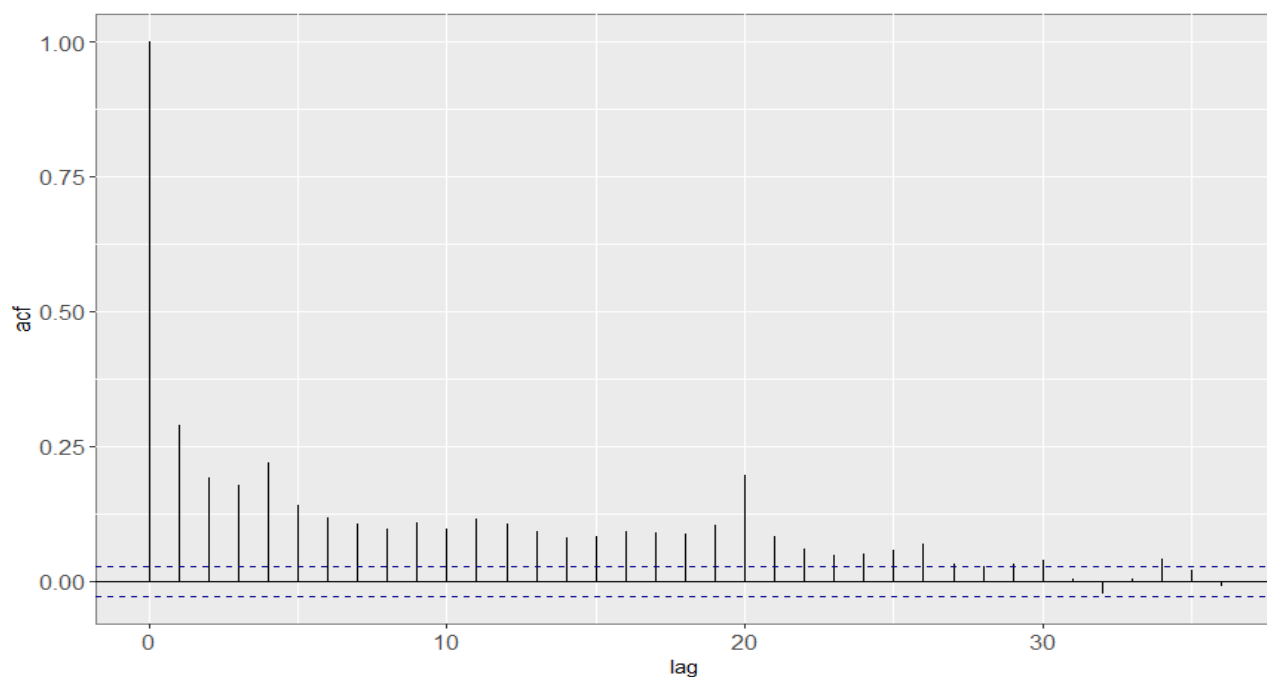


Рисунок 9 Автокорреляционная функция остатков модели из п.1

Добавим в модель из п.1 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 11-й, 12-й и 20-й лаги зависимой переменной, чтобы избавиться от автокорреляции, и вновь посмотрим на остатки модели (рис. 10).

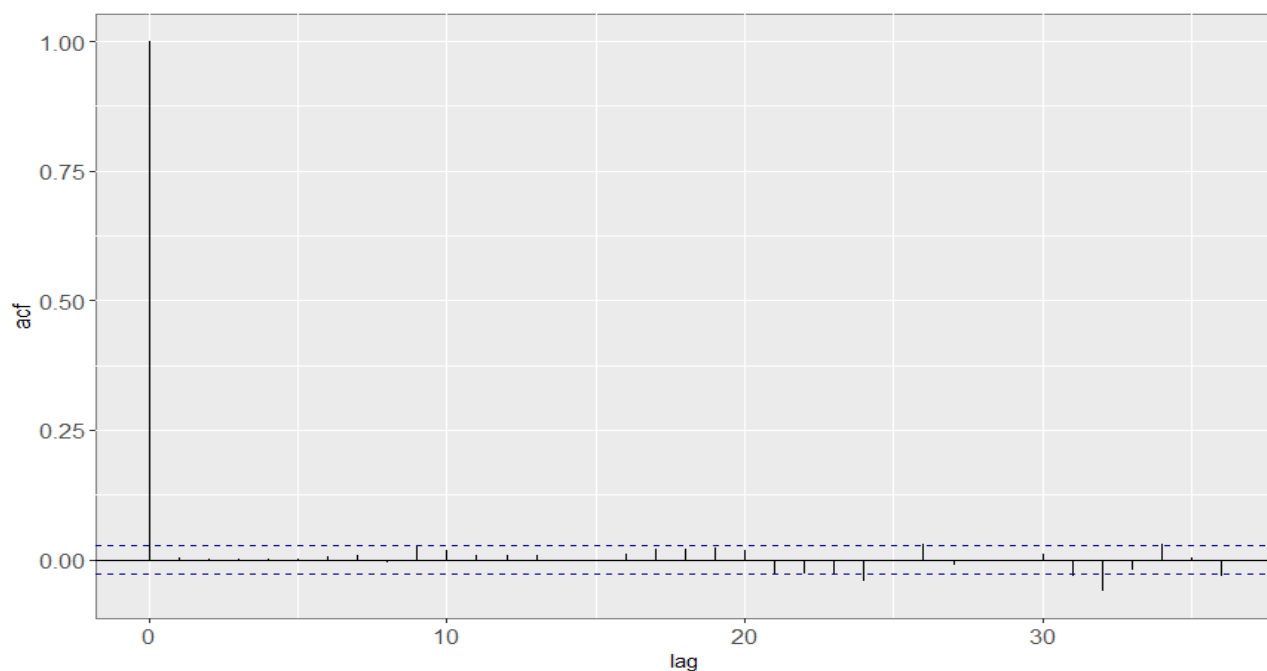


Рисунок 10 Автокорреляционная функция остатков модели из п.1 после включения в нее лагов зависимой переменной

Теперь ошибки в модели независимы. Можно переходить к следующему этапу.

3) Сравнить оцененную t -статистику коэффициента при переменной i_GBR_{t-1} с критическим значением, определенным Д. Дики и У. Фуллером.

Модель 2: МНК, зависимая переменная: Δi_GBR_t

```
call:
lm(formula = dyn(diff(i_GBR) ~ t + i_GBR_1 + d_i_GBR_1 + d_i_GBR_2 +
  d_i_GBR_3 + d_i_GBR_4 + d_i_GBR_11 + d_i_GBR_12 + d_i_GBR_20))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.02118 -0.00154  0.00008  0.00234  0.19302

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.044e-03  1.593e-03   1.283  0.19958
t            -4.915e-07  3.990e-07  -1.232  0.21808
i_GBR_1      -4.475e-04  2.427e-04  -1.844  0.06520 .
d_i_GBR_1     2.128e-01  1.427e-02  14.915 < 2e-16 ***
d_i_GBR_2     6.667e-02  1.456e-02   4.580 4.77e-06 ***
d_i_GBR_3     6.058e-02  1.456e-02   4.161 3.22e-05 ***
d_i_GBR_4     1.308e-01  1.424e-02   9.188 < 2e-16 ***
d_i_GBR_11    4.753e-02  1.414e-02   3.362 0.00078 ***
d_i_GBR_12    2.772e-02  1.414e-02   1.961 0.04992 *
d_i_GBR_20    1.457e-01  1.361e-02  10.710 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.02034 on 4716 degrees of freedom
(41 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.1522,    Adjusted R-squared:  0.1505
F-statistic: 94.03 on 9 and 4716 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Оцененная t -статистика коэффициента при i_GBR_{t-1} равна -1,844, что больше критического значения -3,41. Поэтому нулевая гипотеза не отвергается, ряд i_GBR_{t-1} нестационарен. В таком случае процедура, описанная в п. 1–3, вновь выполняется уже для первой разности ряда i_GBR_{t-1} . Если по итогу для первой разности нулевая гипотеза будет отвергнута, значит, исходный ряд содержит 1 единичный корень. В противном случае п. 1–3 вновь выполняются уже для второй разности исходного ряда и т.д.

Таким образом, после формальной проверки подтвердилось, что все 3 ряда: процентные ставки по долларovým депозитам, процентные ставки по фунтовым депозитам и обменный курс – имеют первый порядок интегрируемости.

Перейдем к непосредственному тестированию гипотезы о наличии паритета процентных ставок между рассматриваемыми валютами. Применяемые методы тестирования подробно рассмотрены в главе 2. Их порядок и название указаны также в соответствии с проведенной в главе 2 классификацией и не несут иной смысловой нагрузки.

Первый метод тестирования ППС

Напомним, идея первого метода заключается в том, чтобы рассчитать временной ряд:

$$Y_t = d_t - f_t,$$

где $d_t = i_GBR_t - i_USA_t$ – процентный дифференциал для ставок по депозитам на 3 месяца;

$$f_t = \ln(USD/GBR)_{t+90} - \ln(USD/GBR)_t - \text{форвардная премия за 3 месяца};$$

В рамках проверяемой гипотезы мы ожидаем, что ряд $\{Y_t\}$ стационарен и имеет нулевое математическое ожидание.

На основании имеющихся данных был рассчитан искомый ряд. Его график изображен на рис. 11.

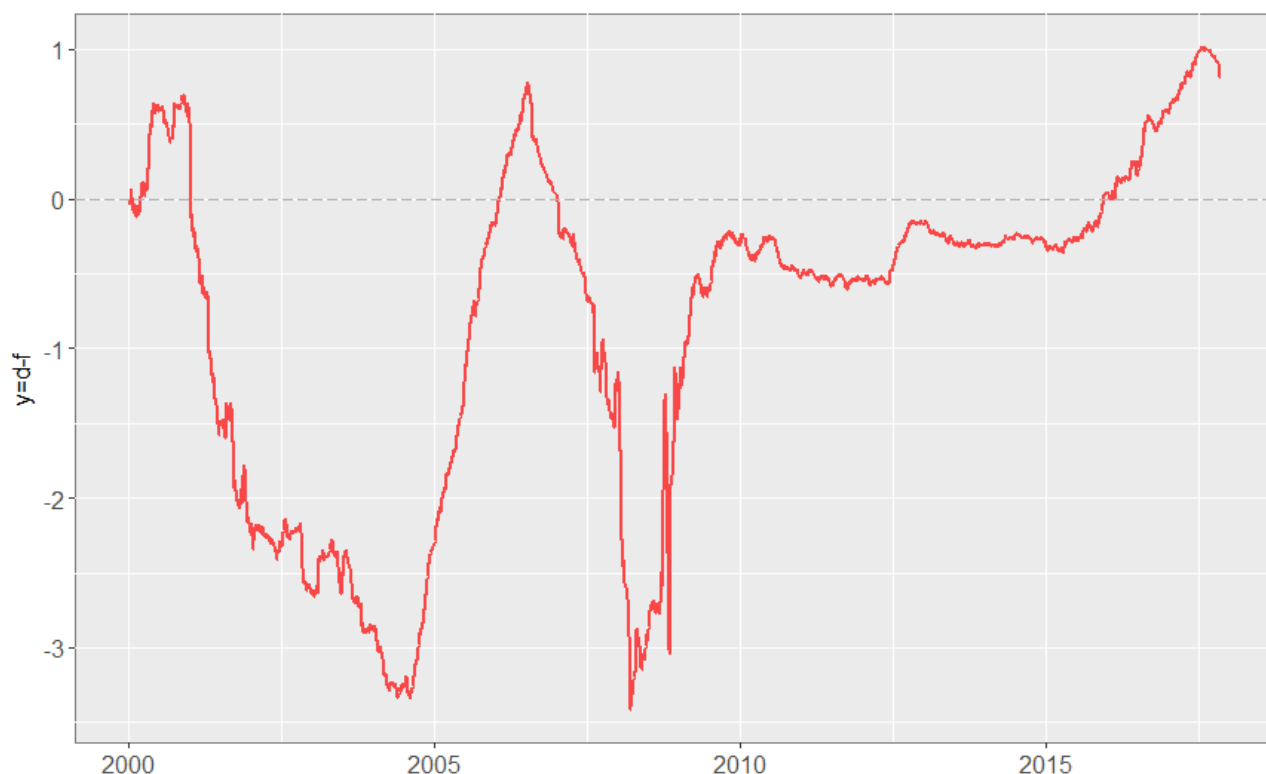


Рисунок 11 График ряда $\{Y_t\}$ для пары США – Великобритания

Ряд $\{Y_t\}$ не является стационарным, что видно по графику и подтверждается формальными тестами. Стоит отметить, что также были проверены различные участки на промежутке 2010-2015 гг., которые выглядят похожими на стационарные. Однако, это лишь визуальный обман, который возникает из-за масштаба графика. При более близком рассмотрении данный участок также оказывается нестационарным. Следовательно, на основании первого метода мы отвергаем гипотезу о выполнении непокрытого паритета процентных ставок в паре США – Великобритания на рассматриваемом временном промежутке.

Второй метод

Второй подход к тестированию предлагает оценить регрессию вида:

$$d_t = \alpha + \beta \frac{E_t^e}{E_t} + \varepsilon_t. \quad (24)$$

Однако сначала необходимо определить порядки интегрируемости временных рядов в левой и правой части, поскольку строить регрессию можно только в случае их совпадения. На основе визуального анализа (см. рис. 12, 13) можно сказать, что ряд $\{d_t\} \sim I(1)$, а ряд $\left\{\frac{E_t^e}{E_t}\right\}$ больше похож на $I(0)$.

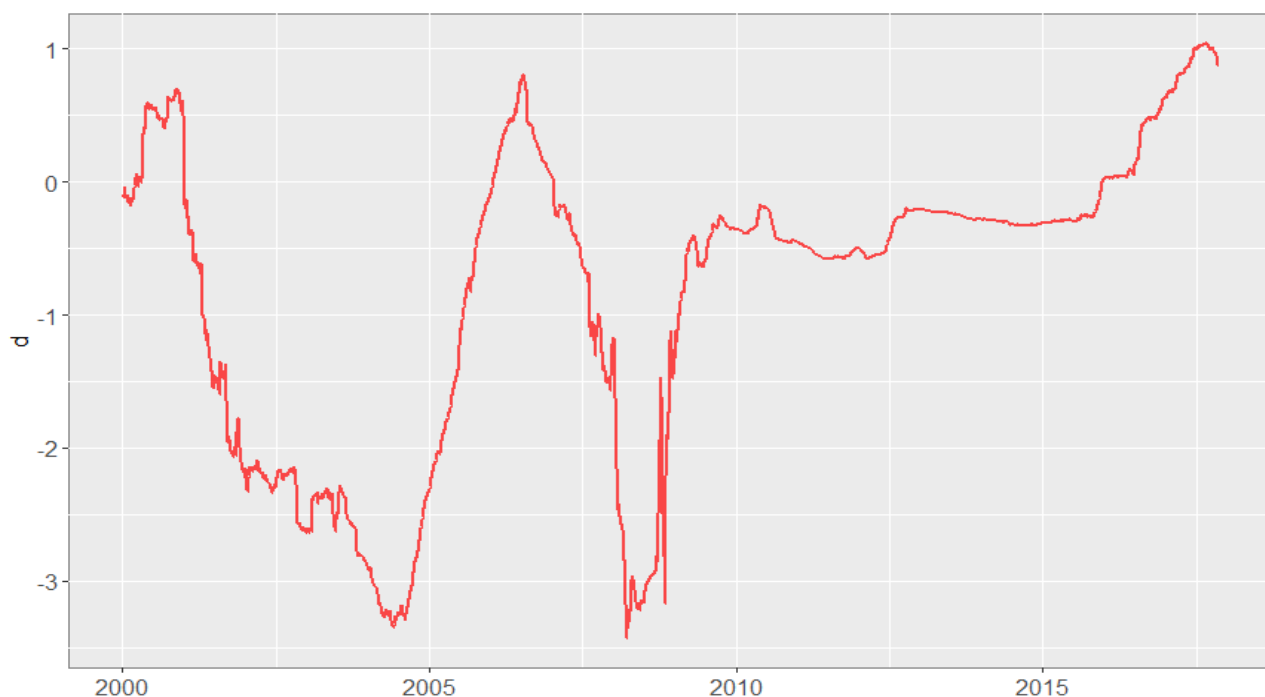


Рисунок 12 График ряда $\{d_t\}$ для пары США – Великобритания

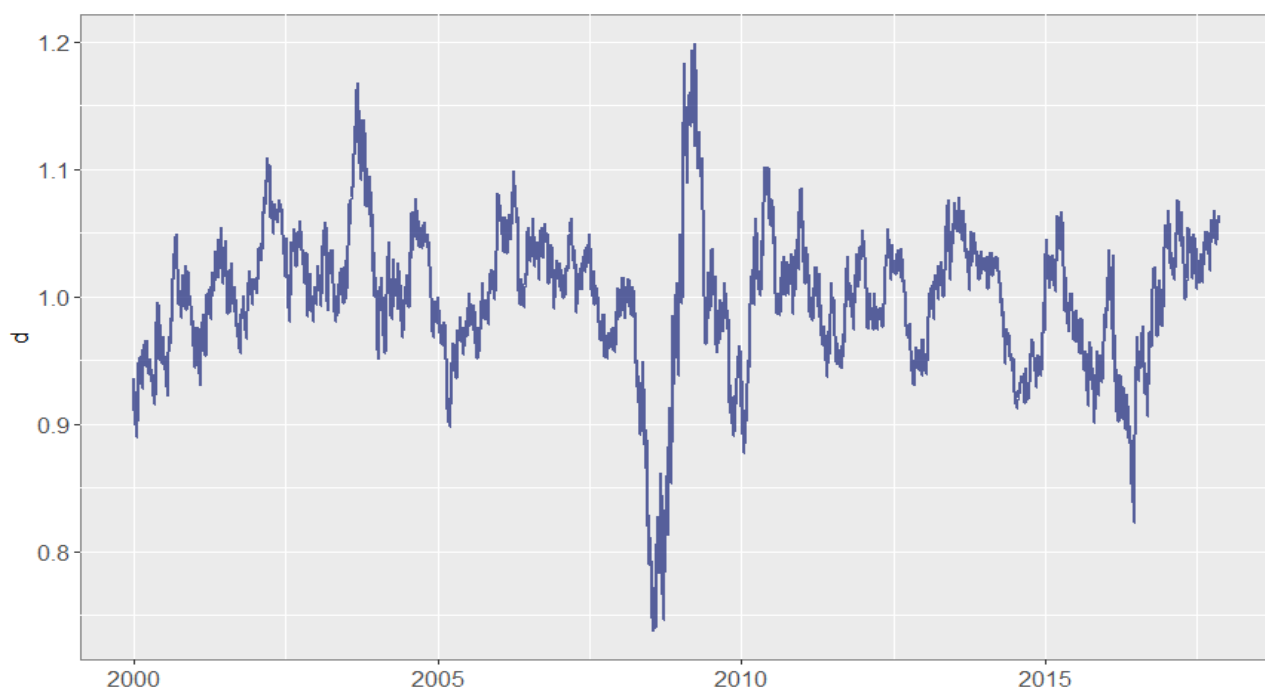


Рисунок 13 График ряда $\left\{\frac{E_t^e}{E_t}\right\}$ для пары США – Великобритания

По итогам формальной проверки с помощью теста ADF-GLS подтвердилось, что первый ряд стационарен в первых разностях. Второй ряд для большей достоверности был протестирован несколькими способами. Все они указывают на его стационарность. Это означает, что исследуемые ряды имеют разный порядок интегрируемости, следовательно, регрессию строить нельзя. Таким образом, второй подход также отвергает гипотезу о наличии паритета процентных ставок.

Третий метод

Третий метод, поскольку был определен в главе 2 в одну группу с предыдущим, очень похож на него и отличается лишь небольшой модификацией в левой части регрессии:

$$\frac{1+i_t}{1+i_t^*} = \alpha + \beta \frac{E_t^e}{E_t} + \varepsilon_t. \quad (25)$$

Перед тем как строить регрессию, естественно, вновь необходимо убедиться в корректности ее построения. График ряда $\{\frac{1+i_t}{1+i_t^*}\}$ изображен на рис. 14. Он, очевидно, является нестационарным. Тест Дики-Фуллера подтверждает, что он имеет первый порядок интегрируемости. График ряда $\{\frac{E_t^e}{E_t}\}$ уже был рассмотрен ранее (см. рис. 13) и он $I(0)$.

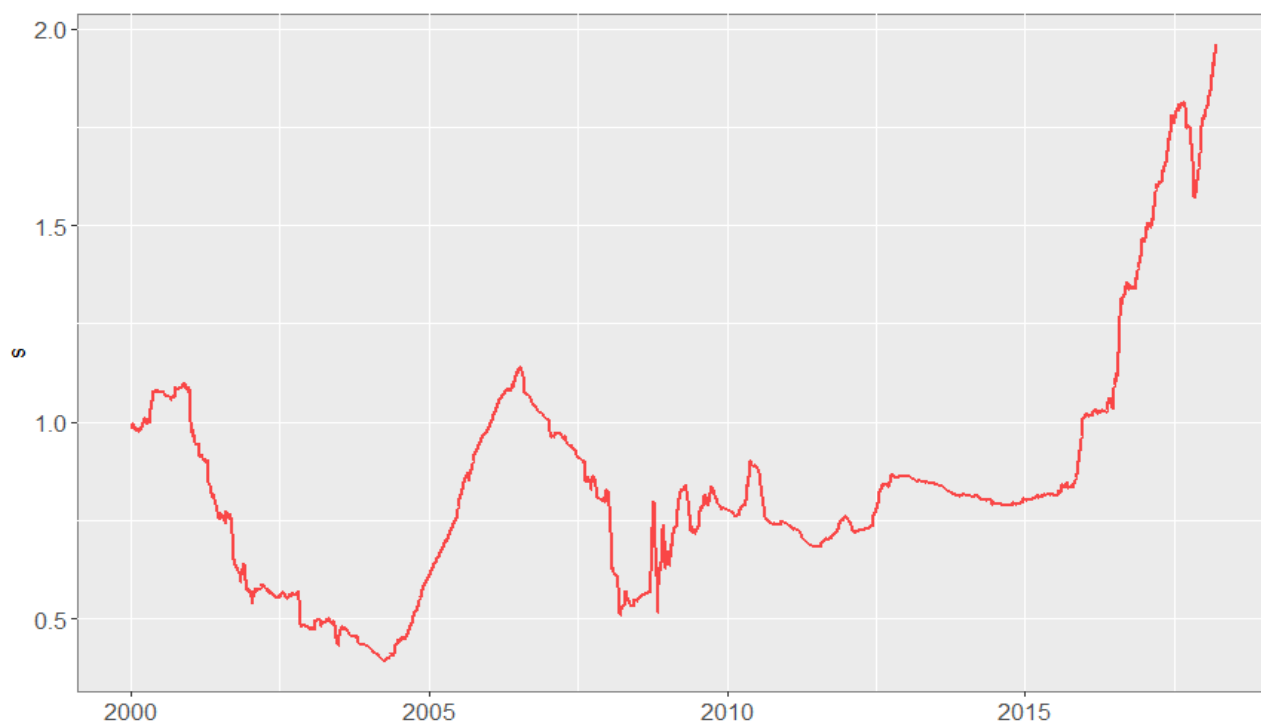


Рисунок 14 График ряда $\{\frac{1+i_t}{1+i_t^*}\}$ для пары США – Великобритания

Это означает, что регрессию вновь нельзя строить по причине разного порядка интегрируемости рядов. Следовательно, и третий метод отвергает гипотезу о паритете процентных ставок в паре США – Великобритания.

Четвертый метод

Идея четвертого метода также в проверке коэффициентов линейной регрессии, немного отличающейся от предыдущих двух вариантов:

$$E_t^e - E_t = \alpha + \beta d_t + \varepsilon_t. \quad (26)$$

Однако в данном случае мы в очередной раз сталкиваемся с проблемой разного порядка интегрируемости рядов. Ряд из правой части, как уже было выяснено в ходе применения второго метода, $I(1)$. При этом ряд из левой части стационарен (см. рис. 15). Таким образом, проверяемая гипотеза снова отвергается, даже не доходя до этапа оценки коэффициентов.

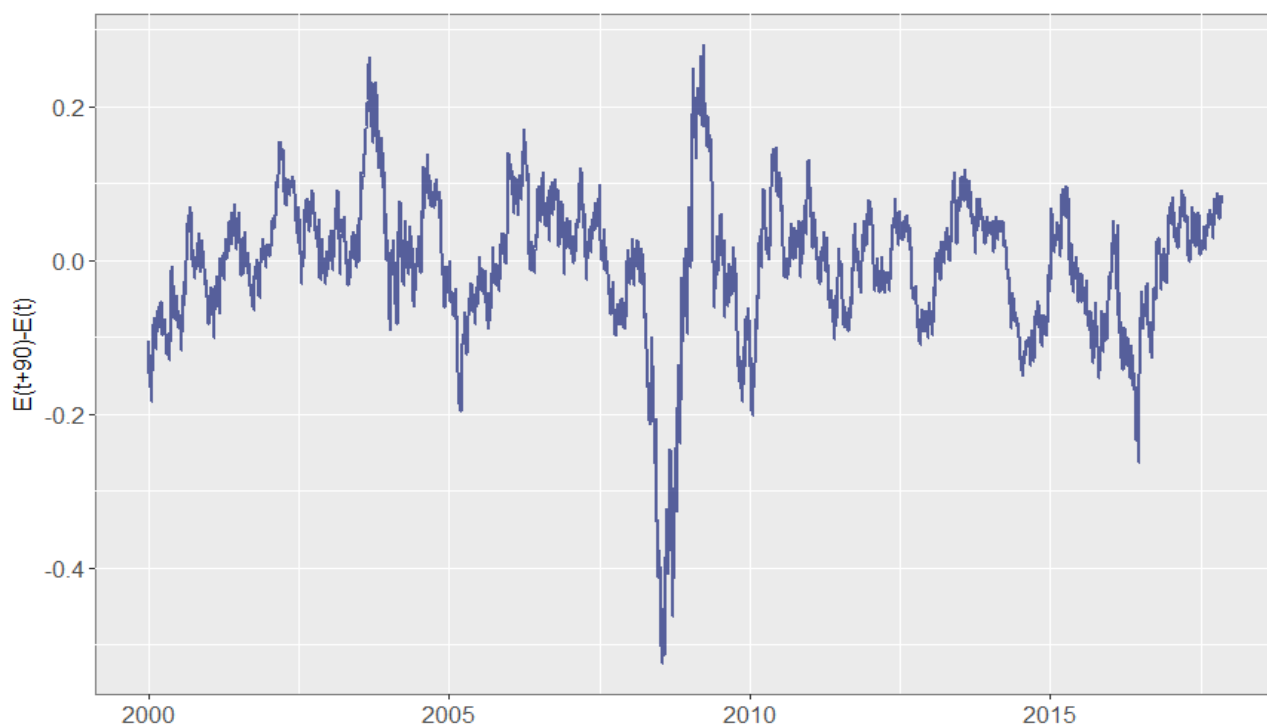


Рисунок 15 График ряда $\{E_t^e - E_t\}$ для пары США – Великобритания

Пятый метод

Пятый метод отличается от всех остальных тем, что из-за специфики тестируемой регрессии он применяется исключительно для проверки гипотезы непокрытого паритета. Уравнение выглядит следующим образом:

$$\ln E_t^e - \ln E_t = \alpha + \beta (\ln F_t - \ln E_t) + \varepsilon_t. \quad (27)$$

Поскольку здесь в регрессии используются сразу оба обменных курса: спотовый и форвардный, — тестирование гипотезы в данном случае осуществляется на временном промежутке с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г., т.к. имеющиеся данные по форвардному курсу ограничены лишь этим интервалом.

Схема проверки аналогична тем, что и в предыдущих трех подходах. Прежде чем строить регрессию, необходимо проверить порядки интегрируемости временных рядов. В случае их совпадения можно строить регрессию и оценивать коэффициенты. Напомним, что в случае выполнения паритета процентных ставок мы ожидаем получить значение константы близкое к нулю, а коэффициента β – к единице.

Ряд $\{lnE_t^e - lnE_t\}$ (см. рис. 16), согласно выполненному в ручном режиме ADF-тесту, стационарен.

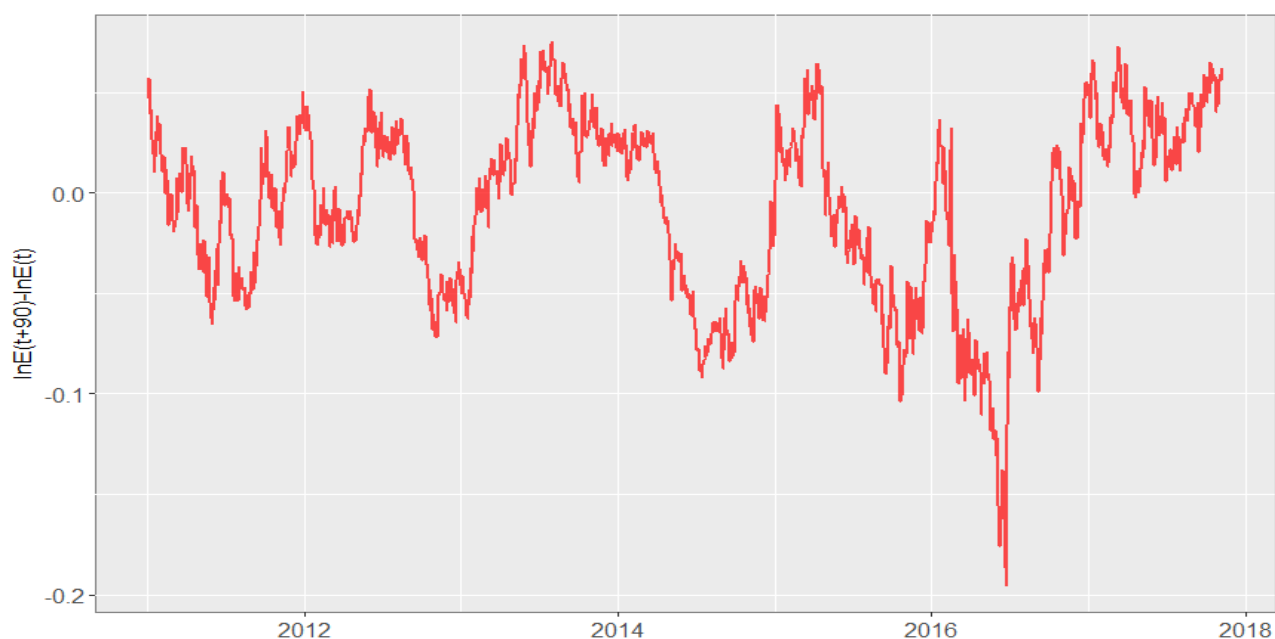


Рисунок 16 График ряда $\{lnE_t^e - lnE_t\}$ для пары США – Великобритания

Ряд $\{lnF_t - lnE_t\}$ (см. рис. 17) также является $I(0)$.

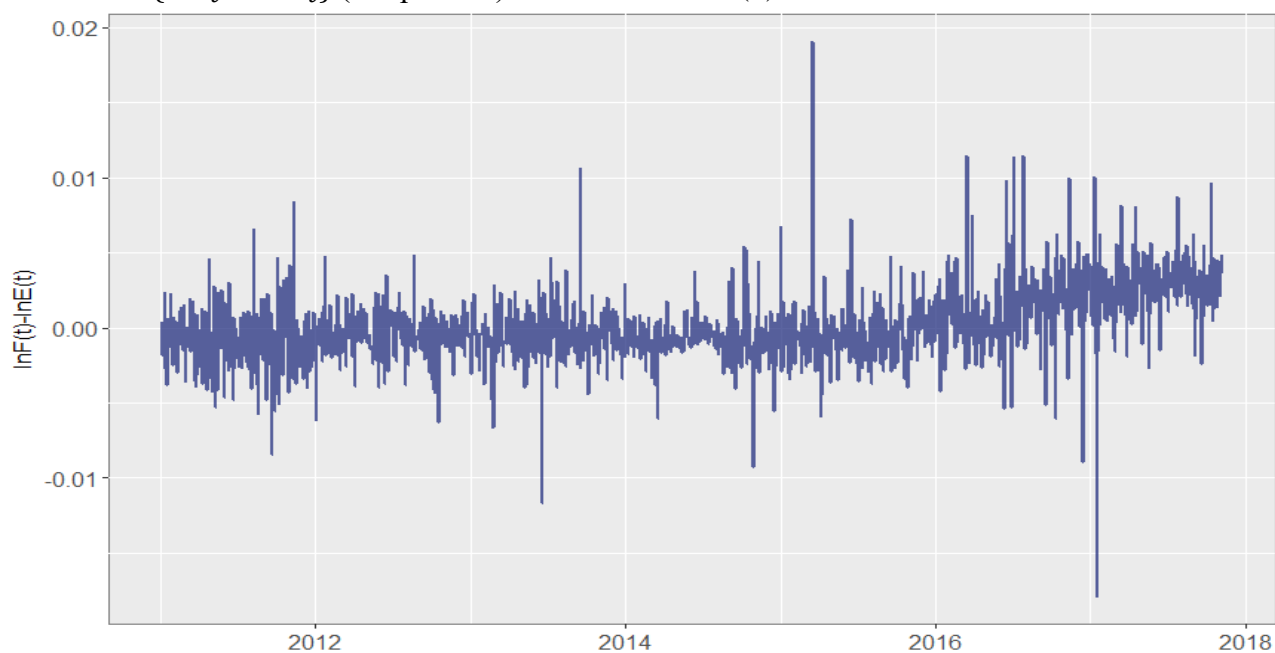


Рисунок 17 График ряда $\{lnF_t - lnE_t\}$ для пары США – Великобритания

Одинаковые порядки интегрируемости дают возможность оценить регрессию (27):

Модель 3: МНК, зависимая переменная: $\ln E_{t+90} - \ln E_t$

```
Call:
lm(formula = dyn(e2 ~ e4))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.192762 -0.033948  0.006825  0.035375  0.100755

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.008563    0.001059  -8.087 1.11e-15 ***
e4           1.948196    0.453187   4.299 1.81e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0447 on 1787 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.01024,    Adjusted R-squared:  0.009682
F-statistic: 18.48 on 1 and 1787 DF,  p-value: 1.809e-05
```

Оцененное уравнение имеет вид: $\ln E_{t+90} - \ln E_t = -0.01 + 1.95 * (\ln F_t - \ln E_t)$. Уравнение в целом значимо, все коэффициенты тоже значимы. Однако константа, несмотря на значимость, все же очень близка к 0, а коэффициент β с учетом стандартной ошибки достаточно близок к единице. Это позволяет нам говорить о возможности не отвергать тестируемую гипотезу и сделать вывод о том, что на промежутке с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г. в валютной паре доллар США – британский фунт соблюдается непокрытый паритет процентных ставок.

Кроме того, из оцененной модели можно получить, что:

$$\ln E_{t+90} = -0.01 + 1.95 * \ln F_t - 0.95 * \ln E_t. \quad (28)$$

Откуда, переходя от логарифмов к реальным величинам, получаем оценку для спотового обменного курса через 90 дней, выраженного через текущие значения спотового и форвардного курса:

$$E_{t+90} = \exp(-0.01 + 1.95 * \ln F_t - 0.95 * \ln E_t). \quad (29)$$

Данную формулу можно использовать для прогноза. Однако, это представляется довольно наивным путем, поскольку все-таки установление обменного курса – сложный процесс, в который вовлечено огромное количество факторов, воздействие и взаимодействие которых – предмет отдельного изучения, и для прогнозирования здесь, вероятно, необходимы более сложные инструменты. Тем не менее можно проверить, насколько близким к реальности окажется прогноз по полученной нами модели.

В табл. 3 приведены результаты прогнозирования.

Таблица 3 Результаты прогнозирования по модели

Дата	Прогноз	Факт	Ошибка прогноза
15.03.2018	1,31216	1,3951	-0,0829
16.03.2018	1,32362	1,3919	-0,0683
19.03.2018	1,30961	1,4032	-0,0936
20.03.2018	1,31662	1,4013	-0,0847
21.03.2018	1,31453	1,4064	-0,0919
22.03.2018	1,31587	1,4098	-0,0939
23.03.2018	1,31738	1,4151	-0,0977
26.03.2018	1,31971	1,4236	-0,1039
27.03.2018	1,32149	1,4161	-0,0946
28.03.2018	1,33253	1,411	-0,0785
29.03.2018	1,32717	1,4029	-0,0757
30.03.2018	1,33051	1,4027	-0,0722
02.04.2018	1,32706	1,4032	-0,0761
03.04.2018	1,34101	1,4068	-0,0658
04.04.2018	1,33511	1,4076	-0,0725
05.04.2018	1,35112	1,3991	-0,048
06.04.2018	1,3418	1,4088	-0,067
09.04.2018	1,34632	1,4136	-0,0673

Видно, что, как и ожидалось, качество прогноза довольно плохое: ошибка очень большая, особенно учитывая то, что речь идет об инвестициях, где она умножается, оборачиваясь в итоге разницей на огромные суммы денег. К тому же ошибка смещенная: на нашем тестовом наборе данных прогноз систематически занижает будущее значение обменного курса.

Шестой метод

Шестой метод, рассмотренный в главе 2, предлагает тестировать коэффициенты модели коррекции ошибок (ECM – error correction model):

$$\Delta \ln E_t^e = \alpha + \beta_1 \Delta \ln E_t \frac{1+i_t}{1+i_t^*} + \beta_2 \hat{u}_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (30)$$

где $\hat{u}_{t-1} = \ln E_{t-1}^e - \gamma \ln E_{t-1}$ – остатки из долгосрочного соотношения.

Идея модели коррекции ошибок в том, чтобы описать, каким образом в краткосрочном периоде модель возвращается к долгосрочному соотношению при возникновении шоков, отклонивших ее от этого соотношения. Поэтому логично, что перед тем, как оценивать регрессию (28), необходимо проверить, а есть ли, «к чему стремиться»: существует ли само долгосрочное соотношение, т.е. коинтеграция между текущим и ожидаемым обменным курсом.

Для проверки коинтеграции используем двухшаговую процедуру Энгла-Грейнджера. На первом шаге строим регрессию E_{t+90} на E_t :

Модель 4: МНК, зависимая переменная: E_{t+90}

```
Call:
lm(formula = E[91:length(E)] ~ E[1:(length(E) - 90)])

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.48110 -0.04491  0.00664  0.05126  0.26619

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.161896   0.011417   14.18  <2e-16 ***
E[1:(length(E) - 90)] 0.897346   0.006996  128.27  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0921 on 4655 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7795,    Adjusted R-squared:  0.7794
F-statistic: 1.645e+04 on 1 and 4655 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Сохраняем остатки оцененной регрессии в переменную u_t и далее определяем порядок интегрируемости этого ряда при помощи тестов единичного корня. В нашем случае остатки регрессии стационарны, что с учетом используемых данных означает, что между значениями спотового курса с разницей в 3 месяца существует долгосрочное соотношение, которое выражается следующей формулой: $E_{t+90} = 0.16 + 0.90E_t$.

Чтобы изучить механизм движения к долгосрочному соотношению, строим ЕСМ, описанную формулой (30):

Модель 5: МНК, зависимая переменная: $\Delta \ln E_{t+90}$

```
Call:
lm(formula = e3 ~ c + uhat_1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.081707 -0.003113  0.000078  0.003245  0.044727

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.994e-05  8.540e-05  -0.233    0.815
c            3.949e-03  1.719e-02   0.230    0.818
uhat_1       9.544e-04  9.325e-04   1.024    0.306

Residual standard error: 0.005827 on 4653 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0002498,    Adjusted R-squared:  -0.00018
F-statistic: 0.5812 on 2 and 4653 DF,  p-value: 0.5593
```

Напомним, что при нулевой гипотезе о наличии паритета процентных ставок значение константы должно быть около нуля, а коэффициентов β_1, β_2 — около 1. Как мы видим из распечатки, нашим ожиданиям соответствует только значение константы. Остальные коэффициенты тоже нулевые, что отвергает тестируемую гипотезу.

Таким образом, по результатам проведенной части исследования можно говорить об обнаруженном непокрытом паритете процентных ставок между британским фунтом и долларом США на промежутке с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г. Для инвесторов это означает невозможность получения прибыли на разности доходности активов и динамике спотового валютного курса в данный период. Кроме того, была произведена проверка качества прогноза по полученной модели. Однако, результаты получились недостаточно удовлетворительными, чтобы можно было рекомендовать данную модель для оценки будущих значений обменного курса.

3.2.1.2 США – Япония

Поскольку в предыдущем пункте на примере пары США – Великобритания механизм тестирования гипотезы о наличии паритета был разобран очень подробно, и он остается прежним для всех последующих пунктов работы, далее будем приводить лишь основные результаты исследования, опуская многочисленные избыточные выкладки с подробным описанием действий. Программный код, использованный для выполнения данной части на языке R, приведен в приложении 2.

Вновь для начала рассмотрим графики исследуемых временных рядов, чтобы представлять, с какими данными мы работаем. Динамика процентных ставок по депозитам в иенах и долларах США изображена на рис. 18. Заметно, что сходство в динамике значительно ниже, чем в паре доллар – фунт (см. рис. 7). Сами ряды имеют первый порядок интегрируемости, согласно ADF-GLS тесту.

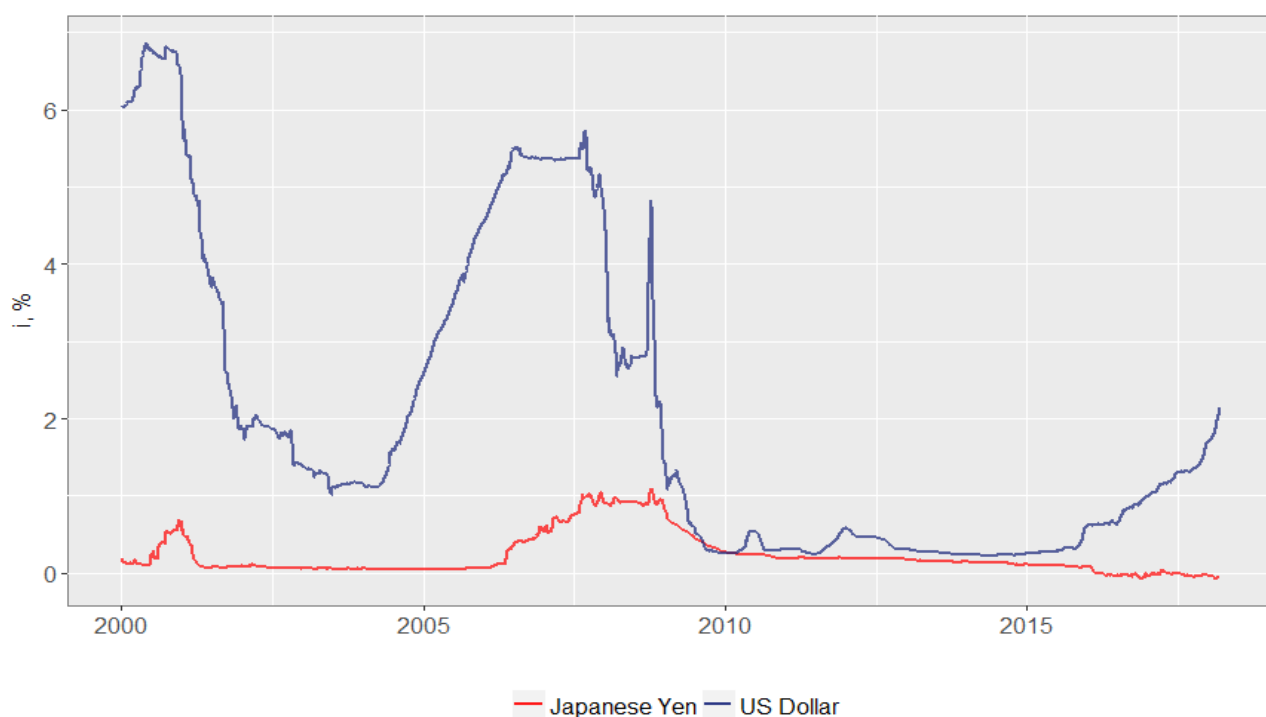


Рисунок 18 Динамика процентных ставок по трехмесячным депозитам в британских фунтах и долларах США

Динамика обменного курса доллара к фунту изображена на рис. 19. Явно заметно ослабление курса доллара на фоне растущей в кризис 2012 года японской валюты. В целом также видно, что ряд нестационарный.

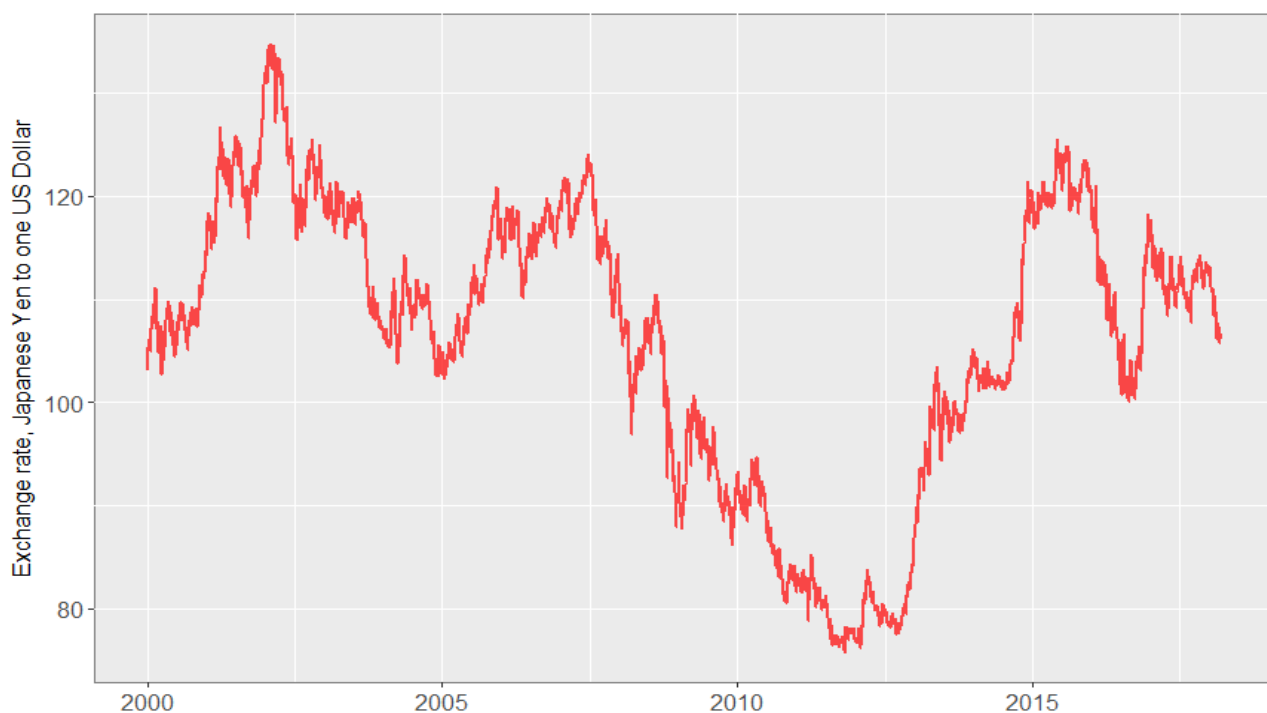


Рисунок 19 Динамика обменного курса японской иены к доллару США (в иенах за 1 доллар)

Первый метод тестирования ППС

Аналогично предыдущему случаю для пары США – Япония был рассчитан ряд $\{Y_t\}$, график которого приведен на рис. 20. Однако гипотеза о стационарности была отвергнута как для всего ряда, так и для отдельных промежутков.

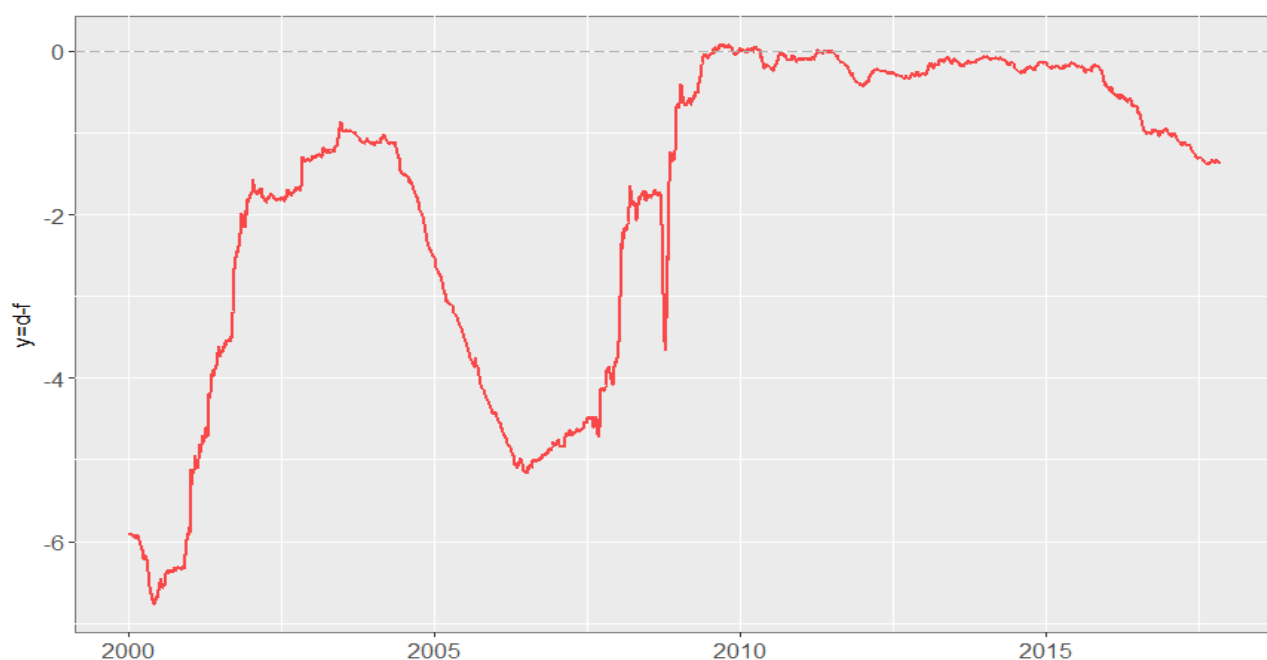


Рисунок 20 График ряда $\{Y_t\}$ для пары США – Япония

Вторая группа методов (методы 2-5)

Все методы из второй группы, идея которых заключается в проверке коэффициентов регрессионного уравнения, столкнулись с проблемой разных порядков интегрируемости временных рядов. По этой причине гипотеза о наличии паритета отвергается еще до тестирования коэффициентов, т.к. построение регрессии невозможно.

Шестой метод

В ходе применения шестого метода было обнаружено долгосрочное соотношение, которое позволило строить ЕСМ:

Модель 6: МНК, зависимая переменная: $\Delta \ln E_{t+90}$

Call:

lm(formula = e3 ~ c + uhat_1)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.052115	-0.003316	0.000063	0.003441	0.033403

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-7.015e-06	9.132e-05	-0.077	0.939
c	9.094e-03	2.293e-02	0.397	0.692
uhat_1	1.188e-06	1.467e-05	0.081	0.935

Residual standard error: 0.006232 on 4653 degrees of freedom

Multiple R-squared: 3.689e-05, Adjusted R-squared: -0.0003929

F-statistic: 0.08583 on 2 and 4653 DF, p-value: 0.9178

Однако коэффициенты оцененной модели получились неудовлетворительными для принятия гипотезы о наличии паритета.

Таким образом, в паре доллар США – японская иена гипотеза о наличии паритета процентных ставок не нашла свое подтверждение ни на одном из участков анализируемого периода. Это означает, что в данном случае инвестору не безразличен выбор валюты депозита, потому как от этого зависит размер дополнительного или наоборот упущенного инвестором дохода.

3.2.2 Покрытый паритет

При тестировании покрытого паритета применяются те же подходы, что и в случае непокрытого, за исключением 5-го подхода, рассмотренного в главе 2, который применяется исключительно для непокрытого паритета. Отличие механизма проверки покрытого паритета от непокрытого лишь в том, что в качестве ожидаемого курса теперь берется не спот-курс на момент $t+k$, известный по историческим данным, а форвардный курс на момент t .

Также напомним, что, поскольку данные по форвардному курсу были собраны лишь за период с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г., исследование покрытого паритета проводится только на этом промежутке.

3.2.2.1 США-Великобритания

Программный код, использованный для выполнения данной части исследования на языке R, приведен в приложении 3.

Первый метод тестирования ППС

Вновь на основе имеющихся данных был рассчитан ряд $\{Y_t\}$, график которого приведен на рис. 21. Однако гипотеза о стационарности была отвергнута как для всего ряда, так и для отдельных промежутков.

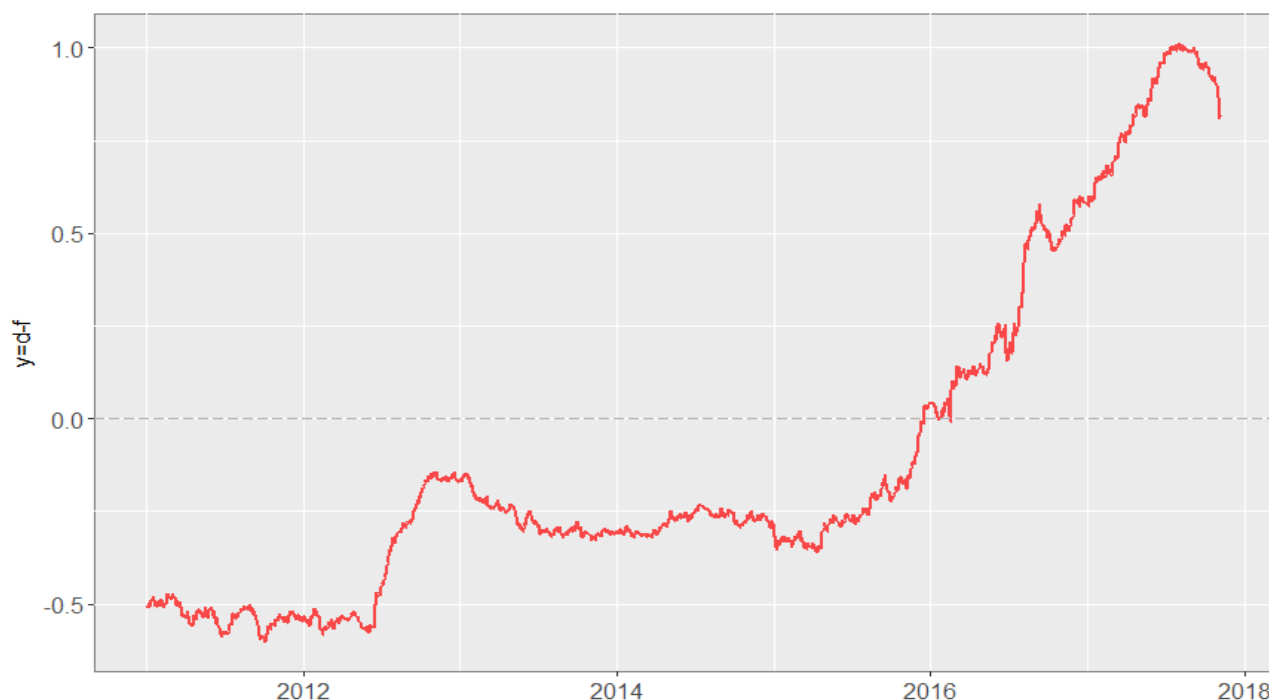


Рисунок 21 График ряда $\{Y_t\}$ для пары США – Великобритания

Вторая группа методов (методы 2-5)

Все методы из второй группы вновь дали одинаковые результаты. На этот раз в каждом случае пара временных рядов имела одинаковый порядок интегрируемости ($I(1)$), что позволяло строить регрессии. Однако во всех трех вариантах модели имеют нестационарные остатки, то есть отсутствует коинтеграция, что приводит к невозможности тестировать коэффициенты оцененной регрессии и заведомо отвергает исследуемую гипотезу.

Шестой метод

Шестой метод не подтвердил наличие долгосрочного соотношения между форвардным и спотовым курсом, из-за чего дальнейшее построение модели коррекции ошибок оказалось невозможным.

Таким образом, гипотеза о наличии покрытого паритета в паре доллар – фунт была отвергнута на всех участках исследуемого промежутка: с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г. Это означает, что инвестор не безразличен к выбору валюты депозита, потому что будущий

обменный курс (на конец срока инвестирования) не выравнивает доходности. Кроме того, полученный результат указывает на значительное расхождение между логичным теоретическим обоснованием, согласно которому паритет процентных ставок является устойчивым для рынка состоянием, и реальной жизнью.

3.2.2.2 США – Япония

Программный код, использованный для выполнения данной части исследования на языке R, приведен в приложении 4.

Первый метод тестирования ППС

В целом ряд $\{Y_t\}$, изображенный на рис. 22, очевидно нестационарен. Однако ADF-тест не отвергает гипотезу о стационарности на промежутке с середины 2011 г. до конца 2014 г.

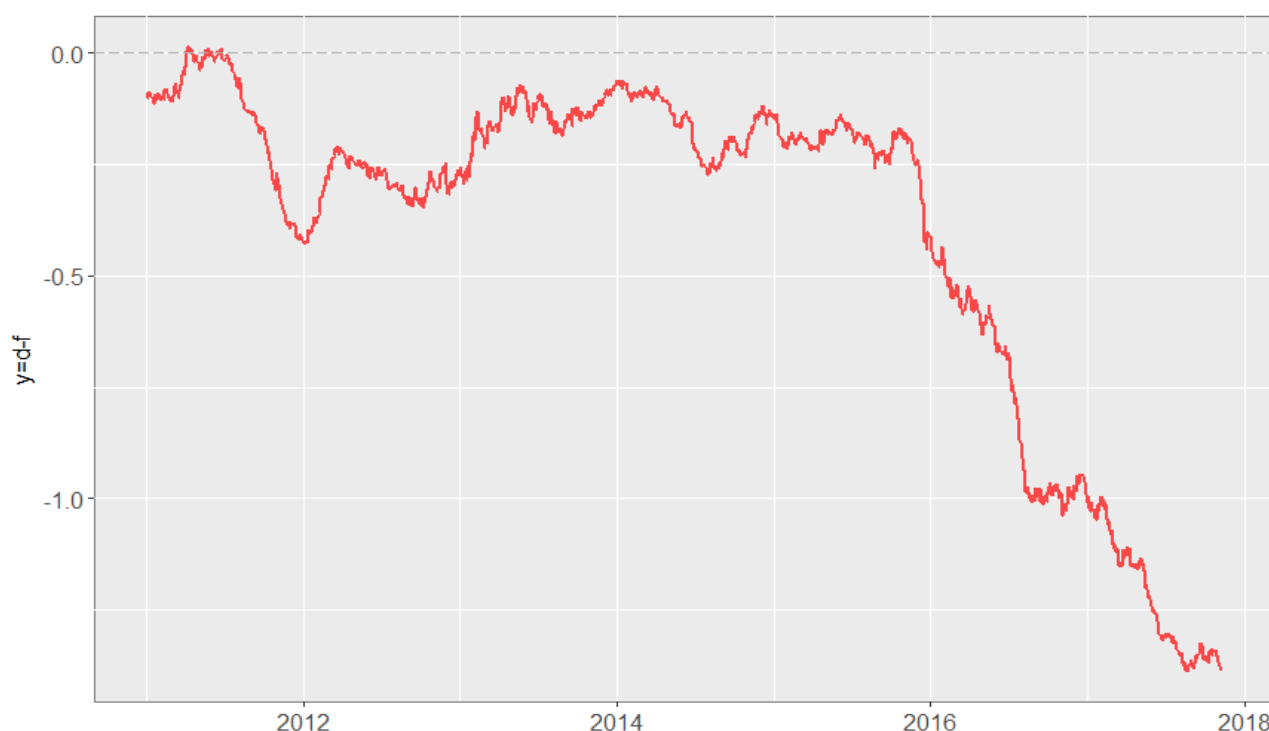


Рисунок 22 График ряда $\{Y_t\}$ для пары США – Япония

Среднее значение ряда на обозначенном отрезке исследуемого промежутка равно -0.16. И хотя формально оно статистически значимо отличается от нуля, тем не менее очень близко к нему. В связи с этим можно считать, что данный результат не позволяет отвергнуть гипотезу о покрытом паритете процентных ставок между долларом США и иеной с середины 2011 г. до конца 2014 г.

Вторая группа методов (методы 2-5)

Все методы из второй группы вновь дали одинаковые результаты. На этот раз в каждом случае пара временных рядов имела одинаковый порядок интегрируемости ($I(1)$), что позволяло строить регрессии. Однако во всех трех вариантах получаются нестационарные

остатки, то есть отсутствует коинтеграция, что приводит к невозможности тестировать коэффициенты оцененной регрессии и отвержению исследуемой гипотезы.

Шестой метод

Шестой метод не подтвердил наличие долгосрочного соотношения между форвардным и спотовым курсом, из-за чего дальнейшее построение модели коррекции ошибок оказалось невозможным.

Таким образом, в паре доллар – иена на всем исследуемом промежутке гипотеза о наличии покрытого паритета процентных ставок получила подтверждение только на участке с середины 2011 г. до конца 2014 г. Это означает, что в данный промежуток времени инвесторы не имели возможности получения прибыли на разности форвардной премии иностранной валюты.

Подведем итог проведенному исследованию. В табл. 4 отражены обобщенные результаты. Рассмотренные в главе 2 методы были применены к тестированию непокрытого и покрытого паритета процентных ставок в двух валютных парах: доллар – фунт и доллар – иена.

Таблица 4 Основные результаты проведенного исследования

Пара \ Паритет	Непокрытый	Покрытый
USD – GBR	январь 2011 г. – март 2018 г.	–
USD – JPY	–	сер. 2011 г. – кон. 2014 г.

Гипотеза о существовании непокрытого паритета между британским фунтом и долларом США подтвердилась на промежутке с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г., а также между долларом и иеной с середины 2011 г. до конца 2014 г. Это означает, что в указанные временные интервалы инвестор не имел возможности получить дополнительную прибыль исключительно за счет перехода в другую валюту. Кроме того, для случая США – Великобритания была произведена проверка того, насколько хорошо оцененная модель паритета может предсказывать будущие значения обменного курса. Однако, качество данного прогноза получилось довольно низким, чтобы можно было рекомендовать данную модель для оценки будущих значений обменного курса.

В целом же, сравнивая размах временных интервалов, на которых осуществлялась проверка выдвинутой гипотезы: с 4 января 2000 г. по 14 марта 2018 г. паритета и с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г. для непокрытого и покрытого паритета соответственно – и периоды, на которых был получен положительный результат, можно сделать вывод, что паритет процентных ставок не выполняется чаще, чем выполняется. Следовательно, между курсами валют и уровнями процентных ставок в двух странах, как правило, отсутствует устойчивая

взаимосвязь, нивелирующая возможности арбитража. То есть спекуляция с выбором валюты депозита, скорее всего, принесет инвестору дополнительную прибыль или убыток в зависимости от того, как его оценки относительно будущих колебаний обменного курса соотнесутся с реальным положением дел на рынке. Кроме того, отсутствие паритета процентных ставок свидетельствует о том, что обменный курс не является итогом установления равновесия спроса и предложения на денежном рынке, т.е. валюты нельзя назвать абсолютно свободно плавающими, государственное воздействие так или иначе имеет место.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы было выявлено, что паритет процентных ставок можно назвать в некотором смысле побочным результатом установления равновесного валютного курса. Два процесса: уравнивание доходностей инвестиций между двумя странами и установление равновесного обменного курса – взаимосвязаны, являются логической цепочкой, в которой изменение в одной модели ведет на следующем шаге к изменению в другой и так далее, пока не установится равновесие. Однако обменный курс можно также в качестве некоего механизма, уравнивающего доходности инвестиций между странами. Если он складывается под воздействием свободных колебаний спроса и предложения на рынке, то состояние паритета доходностей должно быть устойчивым в долгосрочной перспективе. Согласно макроэкономической теории, как было рассмотрено в первой главе, любые состояния, характеризующиеся возможностью арбитража, носят временный характер. В конечном итоге рынок всегда приходит в равновесное состояние с соблюдением паритета процентных ставок. Проблема возникает, если уравнивающий «механизм» работает неправильно, то есть если валютный курс устанавливается не свободно, а по каким-либо причинам подвержен воздействию других факторов, кроме спроса и предложения со стороны инвесторов.

Во второй главе осуществлен краткий обзор наиболее распространенных методов тестирования паритета процентных ставок. На основе анализа аналогичных исследований по данной теме нельзя сделать каких-либо выводов относительно того, какой из методов лучше или хуже. Один и тот же подход, применяемый на различных данных и/или на различных временных промежутках, дает различные результаты. Поэтому повода утверждать, что тот или иной метод склонен чаще отвергать или не отвергать гипотезу также нет. Однако, что касается различия между типами паритета: покрытый/ непокрытый – можно сказать о том, что вторая гипотеза отвергается чаще. Очевидной, но, возможно, не единственной причиной является то, что в случае непокрытого паритета теория не указывает конкретный инструмент для оценки ожидаемого обменного курса. Из-за этого выбор данных является очень важным шагом на этапе эмпирического исследования, так как может исказить его результаты.

Третья глава посвящена практическому применению изученных во второй главе методов тестирования паритета процентных ставок в двух валютных парах: британский фунт – доллар США и доллар США – иена. Были проверены гипотезы как покрытого, так и непокрытого паритета. В результате можно говорить об обнаруженном непокрытом паритете процентных ставок между британским фунтом и долларом США на промежутке с 3 января 2011 г. по 14 марта 2018 г., а также о наличии покрытого паритета в паре доллар – иена на

участке с середины 2011 г. до конца 2014 г. Это означает, что в указанные временные интервалы инвестор не имел возможности получить дополнительную прибыль исключительно за счет динамики обменных курсов. Кроме того, для случая США – Великобритания была произведена проверка качества прогноза по оцененной модели паритета. Однако, качество данного прогноза получилось довольно низким, чтобы можно было рекомендовать данную модель для оценки будущих значений обменного курса.

На бóльшей же протяженности исследуемых промежутков гипотеза о наличии паритета процентных ставок была отвергнута. Следовательно, между курсами валют и уровнями процентных ставок в двух странах, как правило, отсутствует устойчивая взаимосвязь, нивелирующая возможности арбитража. Это означает, что инвестор не безразличен к выбору валюты депозита, потому что будущий обменный курс (на конец срока инвестирования) не выравнивает доходности. Кроме того, полученный результат указывает на значительное расхождение между логичным теоретическим обоснованием, согласно которому паритет процентных ставок является устойчивым для рынка состоянием, и реальной жизнью. В качестве предполагаемых причин того, почему теория не подтверждается на практике, можно предложить следующие, вытекающие главным образом из невыполнения предпосылок теории. Во-первых, тот факт, что теория рассматривает взаимодействие только между двумя странами. Например, рост процентных ставок в стране «А», согласно ППС, позволяет однозначно сделать вывод о том, что инвесторы страны «В» станут перемещать капитал туда. Однако не учитывается, что, возможно, есть некая страна «С», где ставки выросли еще сильнее, и основная волна капитала пойдет туда, минуя страну «В».

Во-вторых, в теории паритет является в некотором смысле побочным результатом установления равновесного валютного курса. То есть в идеальных рыночных условиях как раз отсутствие паритета (наличие арбитража) должно двигать спрос и предложение на валютном рынке до тех пор, пока не установится равновесный курс (и, соответственно, не исчезнет возможность арбитража). В действительности же довольно трудно найти свободно плавающие валюты, курс которых чистым образом определялся бы «невидимой рукой рынка». Как правило, так или иначе государственное воздействие все же имеет место.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ временных рядов: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / О.А. Подкорытова, М.В. Соколов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 267 с. – Серия: Бакалавр и магистр. Модуль.
2. Гурвич Е., Соколов В., Улюкаев А. Анализ связи между курсовой политикой ЦБ и процентными ставками: непокрытый и покрытый паритет // Журнал Новой экономической ассоциации. 2009. №1-2. С. 104-126.
3. Колесов В.П., Кулаков М.В. Международная экономика: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 474 с. – (Учебники экономического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова)
4. Макроэкономика: Учебник/ Г.П. Овчинников, Е.Б. Яковлева – СПб, Бизнес Пресса, 2012 г. – 368 с.
5. Мировая экономика и международные экономические отношения: учебник для академического бакалавриата / под ред. А.И. Погорлецкого, С.Ф. Сутырина. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 499 с. – Серия: Бакалавр. Академический курс.
6. Мировые финансы. В 2 т. Том 1: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / под общ. ред. М.А. Эскиндарова, Е.А. Звоновой. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 373 с. – Серия: Библиотека будущего финансиста-международника.
7. Пивоваров С., Максимцев И., Тарасевич Л. Международный менеджмент: Учебник для вузов. 5-е изд. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2013. – 720 с.: ил. – (Серия «Учебник для вузов»)
8. Шарп У., Александер Г., Бэйли Дж. Инвестиции: Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2001. – XII, 1028 с.
9. Annual Report on Exchange Arrangements and Exchange Restrictions. Washington: International Monetary Fund, 2016.
10. Exchange rate forecasting review. Department of treasury and finance, Western Australia, October 2009, 41 p.
11. Iakov Kuga and Elena Kuzmina. «Covered interest parity: evidence from Russian money market». Working paper No 16/01E. EERC, Project No. 13-5771. 53 p.
12. Introduction to R for Quantitative Finance. Gergely Daroczi et al. Published by Packt Publishing Ltd. November 2013.
13. Kuo-Shing Chen, Chien-Chiang Lee, Chun-Ming Chen. «Arbitrage, covered interest parity and cointegration analysis on the new Taiwan dollar/US dollar FOREX market revisited. International Journal of Economics and Financial Issues, 2017, 7(1), 420-428.
14. Mohammad Hamza Raja and Khawar Jaweed (2014): «Covered interest rate parity». Master thesis, University Collage of Oslo and Akershus, 23 p.
15. Suranovic, S., 2010. International trade: Theory and policy. The Saylor Foundation.
16. Sébastien Hissler. «Do interest rates help to predict exchange rates?». Journal «Trésor-Economics», Ministère de l'Économie et des Finances. No. 15 – June 2007, 8 p.
17. Teresa M. Foy. «An empirical analysis of uncovered interest rate parity and the forward discount anomaly». March 29, 2005. 7 p.
18. The international integration of money markets in the central and east European accession countries: deviations from covered interest parity, capital controls and inefficiencies in the financial sector. Sabine Herrmann, Axel Jochem. Discussion paper 07/03. Economic Research Centre of the Deutsche Bundesbank.
19. J. Arlt and M. Mandel: «An empirical analysis of relationships of forward exchange rates and present and future spot exchange rates», Finance a úvěr-Czech Journal of Economics and Finance, 67, 2017, no. 3
20. Официальный сайт Федерального резервного банка Сент-Луиса. [Электронный ресурс]. URL: <https://fred.stlouisfed.org/> (Дата обращения: 18.03.2018)

21. Хабрахабр. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com> (Дата обращения: 18.04.2018)
22. Bloomberg Terminal. URL: <https://www.bloomberg.com/europe> (Дата обращения: 09.04.2018)
23. URL: <https://www.investopedia.com/articles/forex/08/top-8-currencies-to-know.asp> (Дата обращения: 11.04.2018)

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

R-КОД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НЕПОКРЫТОГО ПАРИТЕТА ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК В ПАРЕ ДОЛЛАР США – БРИТАНСКИЙ ФУНТ

```

library(readxl)
library(tseries)
library(gamair)
library(dyn)
library(urca)
library(ggplot2)

Data_for_USA_GBR <- read_excel("Data 1 (USA-GBR).xlsx")
time<- as.Date(Data_for_USA_GBR$Date)
i_GBR<- as.ts(Data_for_USA_GBR$i (GBR))
i_USA<- as.ts(Data_for_USA_GBR$i (USA))
E<- as.ts(Data_for_USA_GBR$E)
Data_for_USA_GBR_forward<- read_excel("Data 1f (USA-GBR).xlsx")
time1<-as.Date(Data_for_USA_GBR_forward$Date)
E1<- as.ts(Data_for_USA_GBR_forward$E)
Ef<- as.ts(Data_for_USA_GBR_forward$E(f))
t<- as.ts(seq(1,length(i_GBR)))

#visual analysis
df<- data.frame(time, i_GBR, i_USA,E)
ggplot()+
  geom_line(data = df, aes(x=time,y=i_GBR,color="British Pound"),alpha=0.7,size=1)+
  geom_line(data = df, aes(x=time,y=i_USA,color="US Dollar"),alpha=0.7,size=1)+
  labs(color="",x="", y="i, %")+
  scale_color_manual(values = c("#FF0000","#172479"))+
  theme(legend.position = "bottom",legend.text = element_text(size = 12) ,axis.title.y =
element_text(size = 12),
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
ggplot()+
  geom_line(data = df, aes(x=time,y=E,color="E"),alpha=0.7,size=1)+
  labs(color="",x="", y="Exchange rate, US Dollars to one British Pound")+
  scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+

```

```

theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
      axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
# according to the plots, all the time series looks like non-stationary

#ADF-test (automatic)
adf.test(i_GBR, alternative='stationary') #non-stationary
adf.test(diff(i_GBR), alternative = "stationary")# stat.

adf.test(i_USA, alternative='stationary') #non-stationary
adf.test(diff(i_USA), alternative = "stationary")# stat.

adf.test(E, alternative=c('stationary')) #non-stat.
adf.test(diff(E), alternative = "stationary")# stat.
#According to ADF-test, all the time series ~ I(1)

#ADF-test (by hand) for i_GBR (example)
i_GBR_1<- lag(i_GBR,-1)
A<- dyn$lm(diff(i_GBR)~t+i_GBR_1)
summary(A)

#ACF-plot
conf.level <- 0.95
ciline <- qnorm((1 - conf.level)/2)/sqrt(length(diff(i_GBR)))
bacf <- acf(A$residuals, plot = FALSE)
bacfdf <- with(bacf, data.frame(lag, acf))
ggplot(data = bacfdf, mapping = aes(x = lag, y = acf)) +
  geom_hline(aes(yintercept = 0)) +
  geom_segment(mapping = aes(xend = lag, yend = 0))+
  geom_hline(aes(yintercept = ciline), linetype = 2, color = "darkblue", size=0.7) +
  geom_hline(aes(yintercept = -ciline), linetype = 2, color = "darkblue",size=0.7)+
  theme(axis.title.y = element_text(size = 12),
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))#
autocorrelation
#adding 1,2,3,4,11,12,20th lags of DV into the model

```



```

d_i_GBR_1<-lag(diff(i_GBR),-1)#1st lag
d_i_GBR_2<-lag(diff(i_GBR),-2)#2nd lag
d_i_GBR_3<-lag(diff(i_GBR),-3)#3rd lag
d_i_GBR_4<-lag(diff(i_GBR),-4)#4th lag
d_i_GBR_11<-lag(diff(i_GBR),-11)#11th lag
d_i_GBR_12<-lag(diff(i_GBR),-12)#12th lag
d_i_GBR_20<-lag(diff(i_GBR),-20)#20th lag
A<-
dyn$lm(diff(i_GBR)~t+i_GBR_1+d_i_GBR_1+d_i_GBR_2+d_i_GBR_3+d_i_GBR_4+d_i_GBR_
11+d_i_GBR_12+d_i_GBR_20)

```

```

#ACF-plot
bacf <- acf(A$residuals, plot = FALSE)
bacfdf <- with(bacf, data.frame(lag, acf))
ggplot(data = bacfdf, mapping = aes(x = lag, y = acf)) +
  geom_hline(aes(yintercept = 0)) +
  geom_segment(mapping = aes(xend = lag, yend = 0))+
  geom_hline(aes(yintercept = ciline), linetype = 2, color = "darkblue", size=0.7) +
  geom_hline(aes(yintercept = -ciline), linetype = 2, color = "darkblue",size=0.7)+
  theme(axis.title.y = element_text(size = 12),
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))#no
autocorrelation

```

```
summary(A) #i_GBR~DS (crit. val = -3.41)
```

```

# diff(i_GBR)
B<- dyn$lm(diff(diff(i_GBR))~d_i_GBR_1)
summary(B)
acf(B$residuals)
#adding 1,2,3,20th lags of DV into the model
d_d_i_GBR_1<- lag(diff(diff(i_GBR)),-1)#1st lag
d_d_i_GBR_2<- lag(diff(diff(i_GBR)),-2)#2nd lag
d_d_i_GBR_3<- lag(diff(diff(i_GBR)),-3)#3rd lag
d_d_i_GBR_20<- lag(diff(diff(i_GBR)),-20)#20th lag

```

```

B<-
dyn$lm(diff(diff(i_GBR))~d_i_GBR_1+d_d_i_GBR_1+d_d_i_GBR_2+d_d_i_GBR_3+d_d_i_GB
R_20)
acf(B$residuals)
summary(B)# diff(i_GBR)~TS (crit. val = -2.86)

# 1й СПОСОБ
d<- as.ts(i_USA-i_GBR)
f<- as.ts(log(E[91:length(E)])-log(E[1:(length(E)-90)]))
d<- as.ts(d[1:length(f)])
y<- d-f

#plot y
df<- data.frame(time[1:length(y)], y)
ggplot()+
  geom_line(data = df, aes(x=time[1:length(y)],y=y,color="y"),alpha=0.7,size=1)+
  labs(color="",x="", y="y=d-f")+
  scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
  geom_hline(yintercept = 0, linetype=5, color="grey80")+
  theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))

#Unit root test for y
adf.test(y, alternative = "stationary") #non-stationary
ur.ers(y, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
# ППС не выполняется

# 2й СПОСОБ
e<-as.ts(E[91:length(E)]/E[1:(length(E)-90)])

#plot d
df<- data.frame(time[1:(length(y)-1)], d[1:(length(d)-1)])
ggplot()+

```

```
geom_line(data = df, aes(x=time[1:(length(y)-1)],y=d[1:(length(d)-
1)],color="d"),alpha=0.7,size=1)+
labs(color="",x="", y="d")+
scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#plot e
```

```
df<- data.frame(time[1:length(e)], e)
ggplot()+
geom_line(data = df, aes(x=time[1:length(e)],y=e,color="e"),alpha=0.7,size=1)+
labs(color="",x="", y="d")+
scale_color_manual(values = c("#172479"))+
theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#Unit root test for d
```

```
adf.test(d[1:(length(d)-1)], alternative = "stationary")#non-stat.
ur.ers(d[1:(length(d)-1)], type = "DF-GLS")#non-stat.(crit. val. = -2.86)
adf.test(diff(d[1:(length(d)-1)]), alternative = "stationary")# stat.
ur.ers(diff(d[1:(length(d)-1)]), type = "DF-GLS")#stat.(crit. val. = -2.86)
```

```
#Unit root test for e
```

```
adf.test(e, alternative = "stationary")#stat.
ur.ers(e, type = "DF-GLS")#stat.(crit. val. = -2.86)
```

```
# ADF-test for e (by hand)
```

```
e_1<- lag(e,-1)
A<- dyn$lm(diff(e)~e_1)
summary(A)
acf(A$residuals)# autocorrelation
#adding 1,11th lags of DV into the model
d_e_1<-lag(diff(e),-1)#1st lag
d_e_11<-lag(diff(e),-11)#11nd lag
A<-dyn$lm(diff(e)~e_1+d_e_1+d_e_11)
```

```
acf(A$residuals)#no autocorrelation
summary(A) #e~TS (crit. val = -2.86)
# ППС не выполняется
```

```
# 3й СПОСОБ
```

```
s<- (1+i_USA)/(1+i_GBR)
```

```
#plot s
```

```
df<- data.frame(time[1:(length(s))], s)
```

```
ggplot()+
```

```
  geom_line(data = df, aes(x=time[1:(length(s))],y=s,color="s"),alpha=0.7,size=1)+
```

```
  labs(color="",x="", y="s")+
```

```
  scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
```

```
  theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
```

```
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#Unit root test for s
```

```
adf.test(s, alternative = "stationary")# non-stat.
```

```
ur.ers(s, type = "DF-GLS")#non-stat.(crit. val. = -2.86)
```

```
# 4й СПОСОБ
```

```
e1<- as.ts(E[91:length(E)]-E[1:(length(E)-90)])
```

```
#plot e1
```

```
df<- data.frame(time[1:(length(e1))], e1)
```

```
ggplot()+
```

```
  geom_line(data = df, aes(x=time[1:(length(e1))],y=e1,color="e1"),alpha=0.7,size=1)+
```

```
  labs(color="",x="", y="E(t+90)-E(t))+
```

```
  scale_color_manual(values = c("#172479"))+
```

```
  theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
```

```
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#Unit root test for e1
```

```
adf.test(e1, alternative = "stationary")# stat.
```

```
ur.ers(e1, type = "DF-GLS")#stat.(crit. val. = -2.86)
```

```
# ADF-test for e1 (by hand)
```

```
e1_1<- lag(e1,-1)
```

```
A<- dyn$lm(diff(e1)~e1_1)
```

```
summary(A)
```

```
acf(A$residuals)# autocorrelation
```

```
#adding 1,11th lags of DV into the model
```

```
d_e1_1<-lag(diff(e1),-1)#1st lag
```

```
d_e1_11<-lag(diff(e1),-11)#11nd lag
```

```
A<-dyn$lm(diff(e1)~e1_1+d_e1_1+d_e1_11)
```

```
acf(A$residuals)#no autocorrelation
```

```
summary(A) #e1~TS (crit. val = -2.86)
```

```
# 5й ЧПООСБ
```

```
e2<- as.ts(log(E1[91:length(E1)])-log(E1[1:(length(E1)-90)]))
```

```
e4<- as.ts((log(Ef)-log(E1))[1:length(e2)])
```

```
#plot e2
```

```
df<- data.frame(time1[1:length(e2)], e2)
```

```
ggplot()+
```

```
  geom_line(data = df, aes(x=time1[1:length(e2)],y=e2,color="e2"),alpha=0.7,size=1)+
```

```
  labs(color="",x="", y="lnE(t+90)-lnE(t))+
```

```
  scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
```

```
  theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
```

```
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#plot e4
```

```
df<- data.frame(time1[1:(length(e4))], e4)
```

```
ggplot()+
```

```
  geom_line(data = df, aes(x=time1[1:(length(e4))],y=e4,color="e4"),alpha=0.7,size=1)+
```

```
  labs(color="",x="", y="lnF(t)-lnE(t))+
```

```
  scale_color_manual(values = c("#172479"))+
```

```
  theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
```

```
axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#Unit root test for e2
```

```
adf.test(e2, alternative = "stationary")#stat. (a=10%)
```

```
ur.ers(e2, type = "DF-GLS")#non-stat.(crit. val. = -2.86)
```

```
#ADF-test for e2 (by hand)
```

```
e2_1<- lag(e2,-1)
```

```
A<- dyn$lm(diff(e2)~e2_1)
```

```
summary(A)
```

```
acf(A$residuals)# autocorrelation
```

```
#adding 1,5,6,17th lags of DV into the model
```

```
d_e2_1<-lag(diff(e2),-1)#1st lag
```

```
d_e2_5<-lag(diff(e2),-5)#5th lag
```

```
d_e2_6<-lag(diff(e2),-6)#6th lag
```

```
d_e2_17<-lag(diff(e2),-17)#17th lag
```

```
A<-dyn$lm(diff(e2)~e2_1+d_e2_1+d_e2_5+d_e2_6+d_e2_17)
```

```
acf(A$residuals)#no autocorrelation
```

```
summary(A) #e2~TS (crit. val = -2.86)
```

```
#Unit root test for e4
```

```
adf.test(e4, alternative = "stationary")#stat.
```

```
ur.ers(e4, type = "DF-GLS")#non-stat.(crit. val. = -2.86)#stat.
```

```
#model
```

```
C<- dyn$lm(e2~e4)
```

```
summary(C)
```

```
# 6й СПОСОБ
```

```
#Cointegration check between E(t+90) and E(t)
```

```
A<- lm(E[91:length(E)]~E[1:(length(E)-90)])
```

```
summary(A)
```

```
uhat<- A$residuals
```

```
plot(uhat, type="l")
```

```
adf.test(uhat, alternative = "stationary")#stat.
```

```
ur.ers(uhat, type = "DF-GLS")#non-stat.(crit. val. = -2.86)#stat. => CI
#ECM
e3<- as.ts(diff(log(E[91:length(E)])))
e_curr<- diff(log(E[1:(length(E)-90)]))
c<- e_curr*s[1:length(e_curr)]
uhat_1<-as.numeric(uhat[1:length(c)])
B<- lm(e3~c+uhat_1)
summary(B)
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
R-КОД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НЕПОКРЫТОГО ПАРИТЕТА ПРОЦЕНТНЫХ
СТАВОК В ПАРЕ ДОЛЛАР США – ЯПОНСКАЯ ИЕНА

```
library(readxl)
library(tseries)
library(gamair)
library(dyn)
library(urca)
library(ggplot2)

Data_for_USA_JPY <- read_excel("Data 2 (USA-JPY).xlsx")
time<- as.Date(Data_for_USA_JPY$Date)
i_JPY<- as.ts(Data_for_USA_JPY$i (JPY))
i_USA<- as.ts(Data_for_USA_JPY$i (USA))
E<- as.ts(Data_for_USA_JPY$E)
Data_for_USA_JPY_forward<- read_excel("Data 2f (USA-JPY).xlsx")
time1<-as.Date(Data_for_USA_JPY_forward$Date)
i_JPY_1<- as.ts(Data_for_USA_JPY_forward$i (JPY))
i_USA_1<- as.ts(Data_for_USA_JPY_forward$i (USA))
E1<- as.ts(Data_for_USA_JPY_forward$E)
Ef<- as.ts(Data_for_USA_JPY_forward$E(f))

#visual analysis
df<- data.frame(time, i_JPY, i_USA)
ggplot()+
  geom_line(data = df, aes(x=time,y=i_JPY,color="Japanese Yen"),alpha=0.7,size=1)+
  geom_line(data = df, aes(x=time,y=i_USA,color="US Dollar"),alpha=0.7,size=1)+
  labs(color="",x="", y="i, %")+
  scale_color_manual(values = c("#FF0000","#172479"))+
  theme(legend.position = "bottom",legend.text = element_text(size = 12) ,axis.title.y =
  element_text(size = 12),
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
ggplot()+
  geom_line(data = df, aes(x=time,y=E,color="E"),alpha=0.7,size=1)+
  labs(color="",x="", y="Exchange rate, Japanese Yen to one US Dollar")+

```



```

scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
theme(legend.position = "none",legend.text = element_text(size = 12) ,axis.title.y =
element_text(size = 12),
      axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))

```

```
#ADF-test
```

```

adf.test(i_JPY, alternative='stationary') #non-stationary
ur.ers(i_JPY, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
adf.test(diff(i_JPY), alternative = "stationary")# stat.
ur.ers(diff(i_JPY), type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)

```

```

adf.test(i_USA, alternative='stationary') #non-stationary
adf.test(diff(i_USA), alternative = "stationary")# stat.

```

```

adf.test(E, alternative=c('stationary')) #non-stat.
ur.ers(E, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
adf.test(diff(E), alternative = "stationary")# stat.
ur.ers(diff(E), type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)
#all the time series ~ I(1)

```

```
# 1й ЦПООС
```

```

d<- as.ts(i_JPY-i_USA)
f<- as.ts(log(E[91:length(E)])-log(E[1:(length(E)-90)]))
d<- as.ts(d[1:length(f)])

```

```
y<- d-f
```

```
#plot y
```

```

df<- data.frame(time[1:length(y)], y)
ggplot()+
  geom_line(data = df, aes(x=time[1:length(y)],y=y,color="y"),alpha=0.7,size=1)+
  labs(color="",x="", y="y=d-f")+
  scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
  geom_hline(yintercept = 0, linetype=5, color="grey70")+

```

```
theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
      axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#ADF-test for y
```

```
adf.test(y, alternative = "stationary") #non-stationary
```

```
ur.ers(y, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
```

```
# ППС не выполняется
```

```
#2010-2015
```

```
ur.ers(y[2609:4100], type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
```

```
plot.ts(y[2609:4100])
```

```
y1<- as.ts(y[2609:4100])
```

```
# ADF for y1 (by hand)
```

```
y1_1<- lag(y1,-1)
```

```
A<- dyn$lm(diff(y1)~y1_1)
```

```
summary(A)
```

```
acf(A$residuals)# autocorrelation
```

```
#adding 1,4,8,16,20th lags of DV into the model
```

```
d_y1_1<-lag(diff(y1),-1)#1st lag
```

```
d_y1_4<-lag(diff(y1),-4)#4th lag
```

```
d_y1_8<-lag(diff(y1),-8)#8th lag
```

```
d_y1_16<-lag(diff(y1),-16)#16th lag
```

```
d_y1_20<-lag(diff(y1),-20)#20th lag
```

```
A<-dyn$lm(diff(y1)~y1_1+d_y1_1+d_y1_4+d_y1_8+d_y1_16+d_y1_20)
```

```
acf(A$residuals)#no autocorrelation
```

```
summary(A) #y1~DS (crit. val = -2.86)
```

```
# 2й СПОСОБ
```

```
e<-as.ts(E[91:length(E)]/E[1:(length(E)-90)])
```

```
#plot d
```

```
plot(time[1:(length(d)-1)], d[1:(length(d)-1)], col="red", type="l", xlab = "time", lwd=2, main = "d")
```

```
grid()
```

```

#plot e
plot(time[1:length(e)], e, type="l", xlab = "time", lwd=2, main = "e")

#Unit root test for d
adf.test(d[1:(length(d)-1)], alternative = "stationary")#non-stat.
ur.ers(d[1:(length(d)-1)], type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
adf.test(diff(d[1:(length(d)-1)]), alternative = "stationary")# stat.
ur.ers(diff(d[1:(length(d)-1)]), type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -
2.86)

#Unit root test for e
adf.test(e, alternative = "stationary")#stat.
ur.ers(e, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)
# ППС не выполняется

#2010-2015
#Unit root test for d
adf.test(d[2609:4000], alternative = "stationary")#stat.
ur.ers(d[2609:4000], type = "DF-GLS",model=c("constant"))#stat. (crit. val. = -2.86)
d1<- as.ts(d[2609:4000])
plot(time[2609:4000],d1, type="l")
e1<- as.ts(e[2609:4000])
plot.ts(e1)
#Unit root test for e
adf.test(e1, alternative = "stationary")#non-stat.
ur.ers(e1, type = "DF-GLS",model=c("constant"))#non-stat. (crit. val. = -2.86)

# ADF for e1 (by hand)
e1_1<- lag(e1,-1)
A<- dyn$lm(diff(e1)~e1_1)
summary(A)
acf(A$residuals)#no autocorrelation
summary(A) #e1~DS (crit. val = -2.86)

```

```
# ADF for d1 (by hand)
d1_1<- lag(d1,-1)
A<- dyn$lm(diff(d1)~d1_1)
summary(A)
acf(A$residuals)# autocorrelation
#adding 1,4,8,16,20th lags of DV into the model
d_d1_1<-lag(diff(d1),-1)#1st lag
d_d1_2<-lag(diff(d1),-2)#2nd lag
d_d1_3<-lag(diff(d1),-3)#3rd lag
d_d1_4<-lag(diff(d1),-4)#4th lag
d_d1_5<-lag(diff(d1),-5)#5th lag
d_d1_6<-lag(diff(d1),-6)#6th lag
d_d1_12<-lag(diff(d1),-12)#12th lag
A<-dyn$lm(diff(d1)~d1_1+d_d1_1+d_d1_2+d_d1_3+d_d1_4+d_d1_5+d_d1_6+d_d1_12)
acf(A$residuals)#no autocorrelation
summary(A) #d1~DS (crit. val = -2.86)
```

```
# 3й ЦПООСБ
```

```
s<- as.ts((1+i_JPY)/(1+i_USA))
plot(time[1:(length(s))], s, type="l",col="red", xlab = "time", lwd=2, main = "s")
grid()
adf.test(s, alternative = "stationary")
s1<- as.ts(s[2609:4000])
adf.test(s1, alternative = "stationary")#non-stat.
ur.ers(s1, type = "DF-GLS",model=c("constant"))#non-stat. (crit. val. = -2.86)
```

```
#2011-2015
```

```
C<- lm(s1~e1)
summary(C)
ur.ers(C$residuals, type = "DF-GLS",model=c("constant"))#non-stat. (crit. val. = -2.86)
```

```
# 4й ЦПООСБ
```

```
e1<- E[91:length(E)]-E[1:(length(E)-90)]
```

```

plot(time[1:(length(e1))],e1, type="l", xlab = "time", lwd=2, main = "e1")
grid()
ur.ers(e1, type = "DF-GLS",model=c("constant"))#stat. (crit. val. = -2.86)

# 5й ЦПООСБ
e2<- as.ts(log(E1[91:length(E1)])-log(E1[1:(length(E1)-90)]))
e4<- as.ts((log(Ef)-log(E1))[1:length(e2)])
plot(time1[1:length(e2)],e2, type="l",lwd=2, ylab = "lnE(t)_e-lnE(t)", xlab = "time", col="red")
plot(time1[1:length(e4)],e4, type="l",lwd=2, ylab = "lnF(t)-lnE(t)", xlab = "time")
#Unit root test for e2
adf.test(e2, alternative = "stationary")
ur.ers(e2, type = "DF-GLS",model=c("constant"))#stat. (crit. val. = -2.86)
#Unit root test for e4
adf.test(e4, alternative = "stationary")
ur.ers(e4, type = "DF-GLS",model=c("constant"))#stat. (crit. val. = -2.86)

# 6й ЦПООСБ
# Cointegration check betw. E(t+90) and E(t)
A<- lm(E[91:length(E)]~E[1:(length(E)-90)])
summary(A)
uhat<- A$residuals
plot(uhat, type="l")
adf.test(uhat, alternative = "stationary")
ur.ers(uhat, type = "DF-GLS",model=c("constant"))#stat. (crit. val. = -2.86)

#ECM
e3<- diff(log(E[91:length(E)]))
e_curr<- diff(log(E[1:(length(E)-90)]))
c<- e_curr*s[1:length(e_curr)]
uhat_1<-as.numeric(uhat[1:length(c)])
B<- lm(e3~c+uhat_1)
summary(B)

```

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
R-КОД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПОКРЫТОГО ПАРИТЕТА ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК
В ПАРЕ ДОЛЛАР США – БРИТАНСКИЙ ФУНТ

```
library(readxl)
library(tseries)
library(gamair)
library(dyn)
library(urca)
library(ggplot2)

Data_for_USA_GBR <- read_excel("Data 1f (USA-GBR).xlsx")
time<- as.Date(Data_for_USA_GBR$Date)
i_GBR<- as.ts(Data_for_USA_GBR$i (GBR))
i_USA<- as.ts(Data_for_USA_GBR$i (USA))
E<- as.ts(Data_for_USA_GBR$E(f))

#visual analysis
plot(time,i_GBR, type="l", col="red", lwd=2, main =
  "Dynamics of interest rates on deposits for 3 months in British Pounds and in US Dollar",
  ylab="i, %")
grid()
lines(time, i_USA, type="l",col="blue", lwd=2, ylab = "i, %")
legend("topright", c("British Pound","US Dollar"), col=c("red","blue"), lwd=3,
  lty=c(1,1),bty="n",text.col=c("red","blue"), cex=1.2)

plot(time, E, type="l",col="red", lwd=2, ylab="Exchange rate, U.S. Dollars to one British Pound",
  main = "Dynamics of exchange rate between British Pound and US Dollar")
grid()
#according to the plots, all the time series looks like non-stationary

#ADF-test
adf.test(i_GBR, alternative='stationary') #non-stationary
adf.test(diff(i_GBR), alternative = "stationary")# stat.

adf.test(i_USA, alternative='stationary') #non-stationary
```

```
adf.test(diff(i_USA), alternative = "stationary")# stat.
```

```
adf.test(E, alternative=c('stationary')) #non-stat.
```

```
adf.test(diff(E), alternative = "stationary")# stat.
```

```
#According to statistical test - ADF-test, all the time series ~ I(1)
```

```
# 1й СПОСОБ
```

```
d<- as.ts(i_USA-i_GBR)
```

```
f<- as.ts(log(E[91:length(E)])-log(E[1:(length(E)-90)]))
```

```
d<- as.ts(d[1:length(f)])
```

```
y<- d-f
```

```
#plot y
```

```
df<- data.frame(time[1:length(y)], y)
```

```
ggplot()+
```

```
  geom_line(data = df, aes(x=time[1:length(y)],y=y,color="y"),alpha=0.7,size=1)+
```

```
  labs(color="",x="", y="y=d-f")+
```

```
  scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
```

```
  geom_hline(yintercept = 0, linetype=5, color="grey70")+
```

```
  theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
```

```
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#Unit root test for y
```

```
adf.test(y, alternative = "stationary") #non-stationary
```

```
# ППС не выполняется
```

```
#2013-2016
```

```
y1<- as.ts(y[550:1200])
```

```
plot.ts(y1)
```

```
adf.test(y1, alternative = "stationary")#non-stat
```

```
ur.ers(y1, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
```

```
# 2й СПОСОБ
```

```
e<-as.ts(E[91:length(E)]/E[1:(length(E)-90)])
```

```

plot(time[1:(length(y)-1)], d[1:(length(d)-1)], col="red", type="l", xlab = "time", lwd=2, main =
"d")
grid()
plot(time[1:length(e)], e, type="l", xlab = "time", lwd=2, main = "e")
adf.test(d[1:(length(d)-1)], alternative = "stationary")#non-stat.
ur.ers(d[1:(length(d)-1)], type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
adf.test(diff(d[1:(length(d)-1)]), alternative = "stationary")# stat.
ur.ers(diff(d[1:(length(d)-1)]), type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -
2.86)
adf.test(e, alternative = "stationary")#non-stat.
ur.ers(e, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
adf.test(diff(e), alternative = "stationary")#stat.
ur.ers(diff(e), type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)
# оба ряда I(1), можно строить регрессию
D<- lm(d~e)
summary(D)
uhat3<- D$residuals
adf.test(uhat3, alternative = "stationary")# non-stat., коинт-ии нет
ur.ers(uhat3, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)

# 3й СПОСОБ
s<- as.ts(((1+i_USA)/(1+i_GBR))[1:length(e)])
plot(time[1:(length(s))], s, type="l",col="red", xlab = "time", lwd=2, main = "s")
grid()
adf.test(s, alternative = "stationary")
adf.test(diff(s), alternative = "stationary")
G<- lm(s~e)
summary(G)
uhat4<- G$residuals
adf.test(uhat4, alternative = "stationary")# non-stat., CI нет
ur.ers(uhat4, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)

# 4й СПОСОБ
e1<- as.ts(E[91:length(E)]-E[1:(length(E)-90)])

```



```

plot(time[1:(length(e1))],e1, type="l", xlab = "time", lwd=2, main = "e1")
grid()
adf.test(e1, alternative = "stationary")
ur.ers(e1, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
H<- lm(e1~d)
summary(H)
uhat5<- H$residuals
plot(uhat5, type="l")
adf.test(uhat5, alternative = "stationary")
ur.ers(uhat5, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)

```

6й СПОСОБ

проверим коинтеграцию между $E(t+90)$ и $E(t)$

```
A<- lm(E[91:length(E)]~E[1:(length(E)-90)])
```

```
summary(A)
```

```
uhat<- A$residuals
```

```
plot(uhat, type="l")
```

```
adf.test(uhat, alternative = "stationary")# stat., CI есть
```

```
ur.ers(uhat, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #non-stationary (crit. val. = -2.86)
```

```
e3<- diff(log(E[90:length(E)]))
```

```
e_curr<- diff(log(E[1:(length(E)-89)]))
```

```
c<- e_curr*s[1:length(e_curr)]
```

```
uhat_1<-as.numeric(uhat[1:length(c)])
```

```
B<- lm(e3~c+uhat_1)
```

```
summary(B)
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
R-КОД ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПОКРЫТОГО ПАРИТЕТА ПРОЦЕНТНЫХ СТАВОК
В ПАРЕ ДОЛЛАР США – ЯПОНСКАЯ ИЕНА

```
library(readxl)
library(tseries)
library(gamair)
library(dyn)
library(urca)
library(ggplot2)
```

```
Data_for_USA_JPY <- read_excel("Data 2f (USA-JPY).xlsx")
time<- as.Date(Data_for_USA_JPY$Date)
i_JPY<- as.ts(Data_for_USA_JPY$i (JPY))
i_USA<- as.ts(Data_for_USA_JPY$i (USA))
E<- as.ts(Data_for_USA_JPY$E(f))
```

```
#visual analysis
```

```
plot(time,i_JPY, type="l", col="red", lwd=2, main =
  "Dynamics of interest rates on deposits for 3 months in Japanese Yen and in US Dollar",
ylab="i, %")
grid()
lines(time, i_USA, type="l",col="blue", lwd=2, ylab = "i, %")
legend("topright", c("British Pound","US Dollar"), col=c("red","blue"), lwd=3,
  lty=c(1,1),bty="n",text.col=c("red","blue"), cex=1.2)
```

```
plot(time, E, type="l",col="red", lwd=2, ylab="Exchange rate, U.S. Dollars to one British Pound",
  main = "Dynamics of exchange rate between British Pound and US Dollar")
grid()
```

```
#according to the plots, all the time siries looks like non-stationary
```

```
#ADF-test
```

```
adf.test(i_JPY, alternative='stationary') #non-stat.
```

```
adf.test(diff(i_JPY), alternative='stationary') #non-stat.
```

```
adf.test(i_USA, alternative='stationary') #non-stationary
```

```
adf.test(diff(i_USA), alternative = "stationary")# stat.
```

```
adf.test(E, alternative=c('stationary')) #non-stat.
```

```
adf.test(diff(E), alternative = "stationary")# stat.
```

```
# 1й СПОСОБ
```

```
d<- as.ts(i_JPY-i_USA)
```

```
f<- as.ts(log(E[91:length(E)])-log(E[1:(length(E)-90)]))
```

```
d<- as.ts(d[1:length(f)])
```

```
y<- d-f
```

```
#plot y
```

```
df<- data.frame(time[1:length(y)], y)
```

```
ggplot()+
```

```
  geom_line(data = df, aes(x=time[1:length(y)],y=y,color="y"),alpha=0.7,size=1)+
```

```
  labs(color="",x="", y="y=d-f")+
```

```
  scale_color_manual(values = c("#FF0000"))+
```

```
  geom_hline(yintercept = 0, linetype=5, color="grey70")+
```

```
  theme(legend.position = "none",axis.title.y = element_text(size = 12),
```

```
        axis.text= element_text(size = 12),panel.background = element_rect(colour = "grey50"))
```

```
#Unit root test for y
```

```
adf.test(y, alternative = "stationary") #non-stationary
```

```
# ППС не выполняется
```

```
y1<- as.ts(y[520:1250])
```

```
adf.test(y1, alternative = "stationary") #non-stationary
```

```
ur.ers(y1, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)
```

```
plot.ts(y1)
```

```
mean(y)
```

```
t.test(y)
```

```

# ADF for y1 (by hand)
y1_1<- lag(y1,-1)
A<- dyn$lm(diff(y1)~y1_1)
summary(A)
acf(A$residuals)# autocorrelation
#adding 1,4,8,16,20th lags of DV into the model
d_y1_4<-lag(diff(y1),-4)#4th lag
d_y1_9<-lag(diff(y1),-9)#9th lag
d_y1_16<-lag(diff(y1),-16)#16th lag
d_y1_20<-lag(diff(y1),-20)#20th lag
A<-dyn$lm(diff(y1)~y1_1+d_y1_4+d_y1_9)
acf(A$residuals)#no autocorrelation
summary(A) #y1~TS (crit. val = -2.86)

# 2й СПОСОБ
e<-as.ts(E[91:length(E)]/E[1:(length(E)-90)])
plot(time[1:(length(d)-1)], d[1:(length(d)-1)], col="red", type="l", xlab = "time", lwd=2, main =
"d")
grid()
plot(time[1:length(e)], e, type="l", xlab = "time", lwd=2, main = "e")
adf.test(d[1:(length(d)-1)], alternative = "stationary")#non-stat.
adf.test(diff(d[1:(length(d)-1)]), alternative = "stationary")# stat.
adf.test(e, alternative = "stationary")#non-stat.
adf.test(diff(e), alternative = "stationary")#stat.
# оба ряда I(1), можно строить регрессию
D<- lm(d~e)
summary(D)
uhat3<- D$residuals
plot(uhat3, type="l")
adf.test(uhat3, alternative = "stationary")# non-stat., коинт-ии нет

#2011-2015
e1<- as.ts(e[500:1000])
d1<- as.ts(d[500:1000])

```

```

adf.test(d1[1:(length(d1)-1)], alternative = "stationary")#non-stat.
adf.test(diff(d1[1:(length(d1)-1)]), alternative = "stationary")# stat.
adf.test(e1, alternative = "stationary")#non-stat.
adf.test(diff(e1), alternative = "stationary")#stat.
# оба ряда I(1), можно строить регрессию
D<- lm(d1~e1)
summary(D)
uhat3<- D$residuals
plot(uhat3, type="l")
ur.ers(uhat3, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)# non-stat., CI
нет

```

3й СПОСОБ

```

s<- as.ts(((1+i_JPY)/(1+i_USA))[1:length(e)])
plot(time[1:(length(s))], s, type="l",col="red", xlab = "time", lwd=2, main = "s")
grid()
adf.test(s, alternative = "stationary")
adf.test(diff(s), alternative = "stationary")
G<- lm(s~e)
summary(G)
uhat4<- G$residuals
ur.ers(uhat4, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)# non-stat., CI
нет

```

4й СПОСОБ

```

e1<- as.ts(E[91:length(E)]-E[1:(length(E)-90)])
plot(time[1:(length(e1))],e1, type="l", xlab = "time", lwd=2, main = "e1")
grid()
H<- lm(e1~d)
summary(H)
uhat5<- H$residuals
plot(uhat5, type="l")
adf.test(uhat5, alternative = "stationary")

```

```
ur.ers(uhat5, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)# non-stat., CI
нет
```

```
# 6й СПОСОБ
```

```
# проверим коинтеграцию между  $E(t+90)$  и  $E(t)$ 
```

```
A<- lm(E[91:length(E)]~E[1:(length(E)-90)])
```

```
summary(A)
```

```
uhat<- A$residuals
```

```
plot(uhat, type="l")
```

```
adf.test(uhat, alternative = "stationary")# non-stat., коинт-ии нет
```

```
ur.ers(uhat, type = "DF-GLS",model=c("constant")) #stationary (crit. val. = -2.86)# non-stat., CI
нет
```